Revista Brasileira de

ASTRONOMIA

Produzida pela Sociedade Astronômica Brasileira

Ano 1 | Número 3

Nossa estrela: o Sol

Um pouco de Astrobiologia

As galáxias também evoluem

Existem MINI-GALÁXIAS?

Editorial

Vivemos tempos sombrios. No turbilhão de informações que nos chegam, confunde-se facilmente o certo com o errado. O tempo das mídias sociais exige de todos, um senso crítico apurado capaz de interpretar a informação. Mas se a Educação é fraca, como exigir que as pessoas tenham senso crítico? Por outro lado, vivemos aqui e agora, e é preciso fazer algo. Não se pode abandonar aqueles que não tiveram boa formação e pensar somente no futuro daqueles que terão a "sorte" de serem bem formados. É preciso acertar o passo; afinal uma nação é formada por todos. Independente da complexidade que é o tema da Educação no Brasil, é preciso mostrar ao grande público o poder do pensar científico, e este é sim poderoso — minimiza a influência dos discursos políticos e tem o poder libertador de fazer do indivíduo o único responsável pela própria vida.

As redes sociais deram voz à todos que têm acesso à internet e com isso revivemos complexos que nos assombram desde muito tempo, como o famoso complexo de vira-lata. Mesmo na ciência! A todo momento encontramos nas redes sociais noticias de que um Brasileiro ganhou um prêmio em alguma área da ciência. Não há problema em ganhar prêmios mas eles não são o objetivo final do trabalho de pesquisa. Não cansamos de nos comparar com outras nações numa necessidade frenética de mostrarmos que somos tão bons ou melhores. Às vezes tem-se a impressão que estamos mais interessados em sermos reconhecidos, ou sermos famosos, do que aprendermos algo inédito de valor científico. Afinal, não é pra isso que estudamos a ciência das coisas? O valor do conhecimento está nele mesmo e não na fama alcançada por um pesquisador.

Vivemos tempos sombrios. Mas talvez estes aí estejam para que possamos enfim exorcizar nossos demônios e entender que heróis são figuras lendárias, não existem no mundo real. Tenhamos sempre em mente o ideal Brechtiano — "Infeliz a nação que precisa de heróis" —, como bandeira por um país mais ciente de suas possibilidades e responsabilidades. Que os egos exasperados deem vez à generosidade, construindo assim uma sociedade verdadeiramente livre e democrática.

Reinaldo Ramos de Carvalho
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda
Lançamento do foguete Apollo XI, que levaria a primeira missão tripulada à Lua, há 50 anos (Crédito: NASA).
Capa
NGC 4214 observada pelo Telescópio Espacial Hubble (Crédito: NASA/ESA/Hubble Heritage Team).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela
Sociedade Astronômica Brasileira

Conselho Editorial Allan Alves Britto, Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara Martins, Ramachrisna Teixeira, Thiago Signorini Gonçalves
Editor Helio J. Rocha-Pinto
Equipe de colaboradores Hélio Dotto Perottoni, Maria Luiza Ubaldo Melo, Mylena Larrubia, Matheus Bernini Peron, Douglas Brambila dos Santos

Contato secsab@sab-astro.org.br
Para anunciar Fale com Rosana no email acima ou ligue (11) 3091-8684, Seg. a Sex. 10 às 16 h.
Para submissões
Contacte um membro do conselho editorial

Presidente
Reinaldo Ramos de Carvalho
Vice-Presidente
Helio J. Rocha-Pinto
Secretário-Geral
Ramachrisna Teixeira
Secretário
Allan Alves de Brito
Tesoureira
Lucimara Martins
Endereço
Sociedade Astronômica Brasileira
Rua do Matão, 1226
05508-090 São Paulo – SP
http://www.sab-astro.org.br

4 **Nossa estrela: o Sol**
Adriana Valio descreve a estrutura do Sol e conta sobre a Sonda Solar Parker, que estudará seu campo magnético.

12 **Galáxias anãs**
Gustavo Lanfranchi apresenta ao leitor um tipo de galáxia que costuma ser ignorada nos livros mais populares, pois não se encontram no clássico Diagrama de Classificação de Hubble.

22 **Astrobiologia**
Douglas Galante, Fábio Rodrigues e Márcio Avellar contam a história do surgimento da Astrobiologia como área de pesquisa, e sobre como ela leva à convergência de diversas áreas.

30 **Evolução de galáxias**
Evoluir é um ditame da Natureza. Mesmo as galáxias estão sujeitas a isso, como explica Karín Menéndez-Delmestre.

38 **Bônus**
Uma carta celeste do século XVIII em página dupla!

Nossa estrela: o Sol

Em nosso ir e vir cotidiano, acostumados que estamos a caçar estrelas no céu noturno, por vezes é comum esquecer que aquela mais próxima está a oito minutos-luz de nós e que deve ser estudada durante o dia. E, de fato, muito do que sabemos sobre as estrelas se deve ao que descobrimos sobre o Sol.

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, e como tal serve de laboratório para o estudo de todas as outras estrelas. Na antiguidade era adorado por muitos povos, os quais dependiam da sua luz e calor, e ainda hoje dependemos de sua energia, necessária para a fotossíntese das plantas.

Hoje sabemos que esta energia é produzida nas profundezas do seu interior, o núcleo solar, com temperaturas em torno de 15 milhões de graus e densidade 150 vezes a densidade da água. O físico alemão Hans Bethe foi o primeiro a identificar a fonte desta energia como proveniente de reações nucleares onde 4 núcleos de hidrogênio (o elemento mais abundante do Universo e que compõe 90% do Sol) são transformados em um núcleo de hélio. Existe uma pequena diferença entre a massa de 4 hidrogênios e de 1 hélio (0,7%) e esta diferença de massa, convertida em energia seguindo a famosa

Na página anterior
Pôr do Sol fotografado no Reino Unido (Crédito: Dimitris Vetsikas/Pixabay)

relação $E = m\,c^2$, é suficiente para manter o nosso Sol brilhando por 10 bilhões de anos. O Sol tem hoje aproximadamente 4,6 bilhões de anos, assim como os planetas e todos os componentes do Sistema Solar.

Toda esta energia produzida no núcleo, interior a 25% do raio solar, flui para a superfície do Sol, primeiramente na forma de radiação até aproximadamente 70% do raio solar, e nos últimos 30% na forma de convecção, como a água fervendo em uma panela. Na interface, onde ocorre a mudança de transporte de energia de radiação para convecção, há uma grande mudança de velocidade do plasma solar. Esta fina camada é chamada de *tacoclina*, e acredita-se que seja o local de origem do campo magnético solar.

No caminho do interior até a superfície solar, isto é, um raio solar de 700.000 km, os fotóns produzidos nas reações nucleares podem levar várias centenas de milhares de anos. Já os neutrinos (partículas muito leves que interagem muito pouco com a matéria), que também são produzidos nestas reações, atravessam em menos de 3 segundos. Ao longo do interior solar, tanto a densidade quanto a temperatura caem gradativamente. A temperatura na superfície do Sol é de aproximadamente 6000 graus Celsius.

Embora chamada de *superfície do Sol*, esta não se trata de uma superfície sólida, mas apenas duma camada opaca que bloqueia toda radiação do interior solar. Acima desta camada encontra-se a atmosfera solar que é dividida em três camadas: fotosfera, cromosfera e coroa. A *fotosfera*, que se inicia na superfície solar apresenta manchas escuras em sua superfície, chamadas manchas solares, que são de centenas a milhares de graus mais frias que as regiões ao redor. Estas manchas são mais escuras justamente por se-

rem mais frias e são regiões de alta concentração de campo magnético.

Galileo Galilei, assim como Scheiner e Fabricius, foi quem observou pela primeira vez as manchas escuras na superfície do Sol em 1610 utilizando a imagem do Sol projetada através de uma luneta. Com isso mostrou que a superfície solar não era imaculada. Suas ideias foram publicadas em 1613, sob o título de *Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari*.

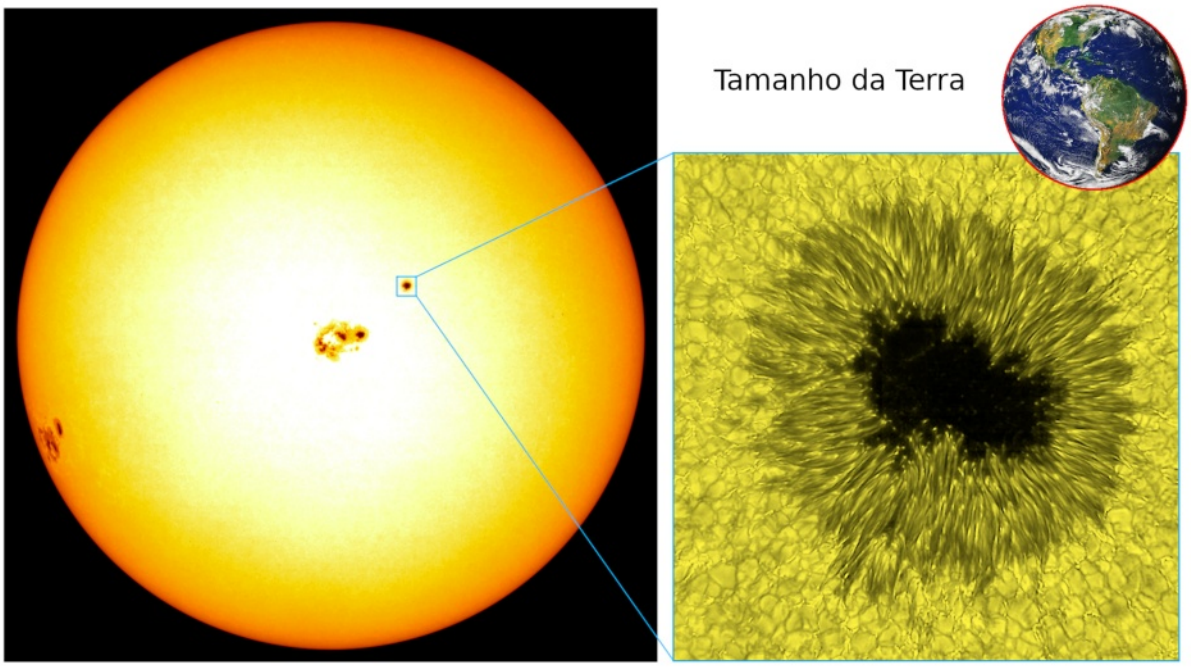
A fotosfera solar vai até mais ou menos 300 km acima da superfície solar e a temperatura cai conforme a altitude aumenta até uns 4800 graus Celsius. Porém acima da fotosfera, a temperatura aumenta até dezenas de milhares de graus, é a *cromosfera*. Esta camada recebe este nome, do grego "cromo", cor, por ter uma tonalidade avermelhada ou rosa durante eclipses totais do Sol.

A última camada da atmosfera solar é a *coroa*, com temperaturas altíssimas de milhões de graus, porém muito rarefeita, que é vista no visível somente durante eclipses totais do Sol, ou então em imagens de raios X obtidas por satélites. Este fenômeno de aumento de temperatura de 6000 a milhões de graus, ainda não está totalmente explicado. O mecanismo mais aceito atualmente é que o aquecimento coronal resulte de microexplosões que ocorrem continuamente na superfície solar.

É na atmosfera solar que ocorrem os fenômenos relacionados à atividade solar cuja fonte de energia é o campo magnético. Hoje sabemos que toda a atividade solar passa por ciclos periódicos de 11 anos. Em épocas de máxima atividade solar, vemos muitas manchas na superfície do Sol e ocorrem muitas explosões e ejeções de massa da atmosfera solar. Já em períodos de mínimo, raramente se observam estes fenômenos.

Explosões solares são os fenômenos mais energéticos do Sistema Solar, quando subitamente ocorre a liberação de energia magnética que acelera partícu-

Abaixo
Estrutura do interior e atmosfera solar com suas respectivas camadas.



Acima
Esquerda: Imagem em luz visível do Sol. Direita: Ampliação de uma mancha solar com a Terra em escala para comparação das dimensões.

las até velocidades relativísticas e produz radiação em todo o espectro eletromagnético. Apesar de a energia liberada em uma grande explosão ser equivalente a de milhões de bombas atômicas, é apenas alguns centésimos da energia produzida no interior solar pelas reações termonucleares.

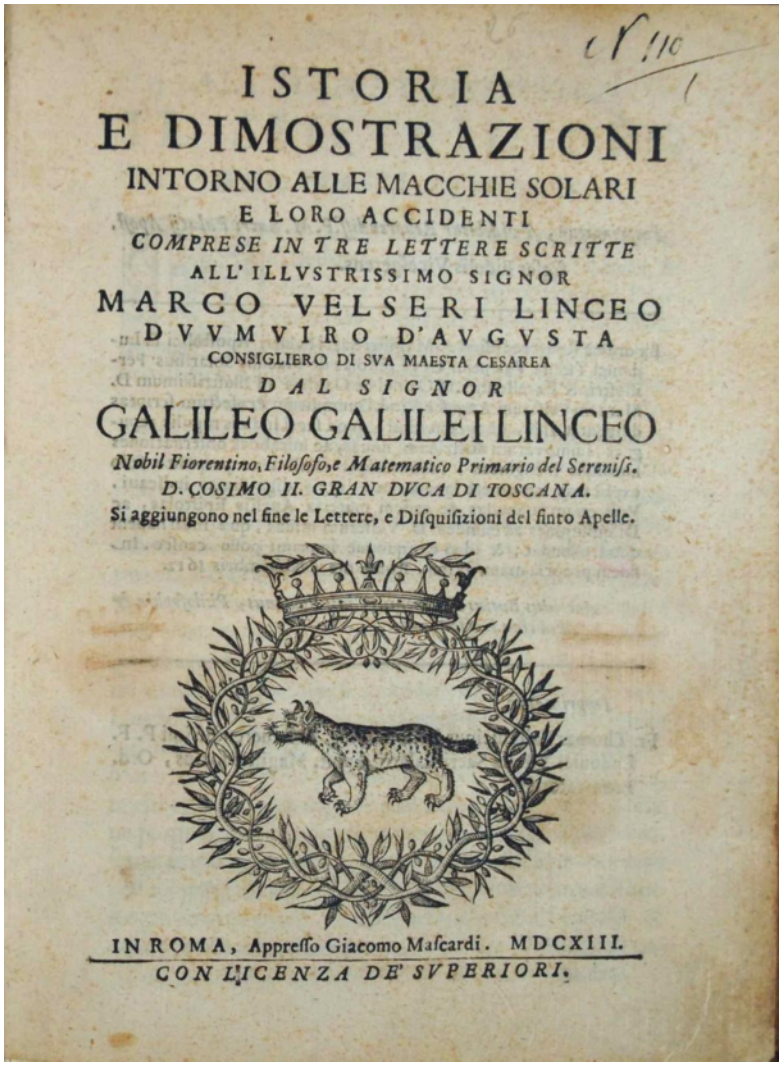
Já as ejeções de massa, com energia equivalente à das explosões, são fenômenos, em princípio independentes, onde grandes quantidades de massa (aproximadamente um bilhão de toneladas) do plasma da coroa solar são arremessadas para o meio interplanetário. Estas bolhas de plasma são também envoltas em campos magnéticos e atravessam o meio interplanetário com velocidades que variam de centenas de milhares a milhões de km/h.

Embora a maioria das ejeções de massa sejam arremessadas em outras direções, algumas são lançadas para a Terra. Neste caso partículas energéticas e campos magnéticos podem nos acertar e acarretar vários danos à nossa sociedade altamente tecnológica. Como exemplos, podem ser citados as tempestades geomagnéticas, os apagões, as interferências em sinais de satélites como GPS, interrupção de sinais de telecomunicações, panes em satélites em geral e bússolas, além das belas auroras boreais e austrais (no hemisfério norte e sul, respectivamente). Também podem ocorrer altas doses de raios X para tripulantes de aviões de caça, ou passageiros de voos comerciais transpolares. Para astronautas fora da proteção de naves espaciais, a dose de raios X pode

ser fatal.

Todos estes efeitos da atividade solar em nosso planeta são conhecidos como *Clima Espacial* e, atualmente, é uma área de pesquisa bastante profícua. Devido aos prejuízos causados pela atividade solar que pode atingir bilhões de dólares quando um satélite deixa de funcionar, por exemplo, grande ênfase na previsão do Clima Espacial tem sido feita, com o objetivo de minimizar as perdas causadas pelas interrupções de sinais de telecomunicações, GPS e outros.

Abaixo
Capa do livro de Galileo Galilei sobre manchas solares.



No Brasil tempos o programa Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos. Porém, a previsão de clima espacial primeiramente requer um profundo conhecimento da atividade solar, e para tanto, são necessários estudos contínuos do Sol. O Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie (CRAAM) da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, há mais de meio século tem se dedicado ao estudo da atividade solar e monitoramento da ionosfera terrestre.

Mas a atividade solar atinge apenas os dispositivos tecnológicos? Existem indícios, embora menos evidentes, que o clima na terra também sofre alterações causadas por esta atividade. Durante a primeira metade do século XVII quase não houve manchas no Sol, este período de quase 70 anos é conhecido como o *Mínimo de Maunder*. Coincidentemente, ocorreram temperaturas bem abaixo da média na Europa registradas em pinturas da época mostrando os rios Tâmisa em Londres e Sena em Paris congelados com pessoas patinando em sua superfície. Anéis de árvores e registros de gelo corroboram as baixas temperaturas da época. Aparentemente, o fluxo solar total varia com a atividade solar, aumentando uma pequena fração

Acima
Imagem do eclipse total do Sol de 2009, fotografado das Ilhas Marschal por pesquisadores da Brno University of Technology. A imagem evidencia a estrutura da coroa solar. (Crédito: Miloslav Druckmüller, Peter Aniol, Vojtech Rušin, Ľubomír Klocok, Karel Martišek, Martin Dietzel. Reproduzida com permissão dos autores)

conforme a atividade solar aumenta e isto aumenta a temperatura aqui na Terra.

Acredita-se que o Sol era bem mais ativo no passado, há dois bilhões e pouco de anos atrás quando a vida terrestre era composta apenas por organismos unicelulares. Sabemos disso pela observação de jovens estrelas do tipo solar. As explosões produzidas por estas estrelas chegam a ser milhares de vezes mais intensas do que as que observamos hoje no Sol. Nestes casos, a radiação ultravioleta produzida por estas explosões ameaçaria a vida na Terra, uma vez que a camada de ozônio ainda não existia. Portanto, uma possibilidade é que a vida multicelular se desenvolveu debaixo d'água, em lagos ou a pouca profundidade em oceanos. Há 2,2 bilhões de anos atrás, as algas azuis (organismos multicelulares) foram capazes de produzir oxigênio em

Para saber mais

Veja o livro *Nossa Estrela: o Sol* de Adriana V. R. Silva, Ed. Livraria da Física, 2006.

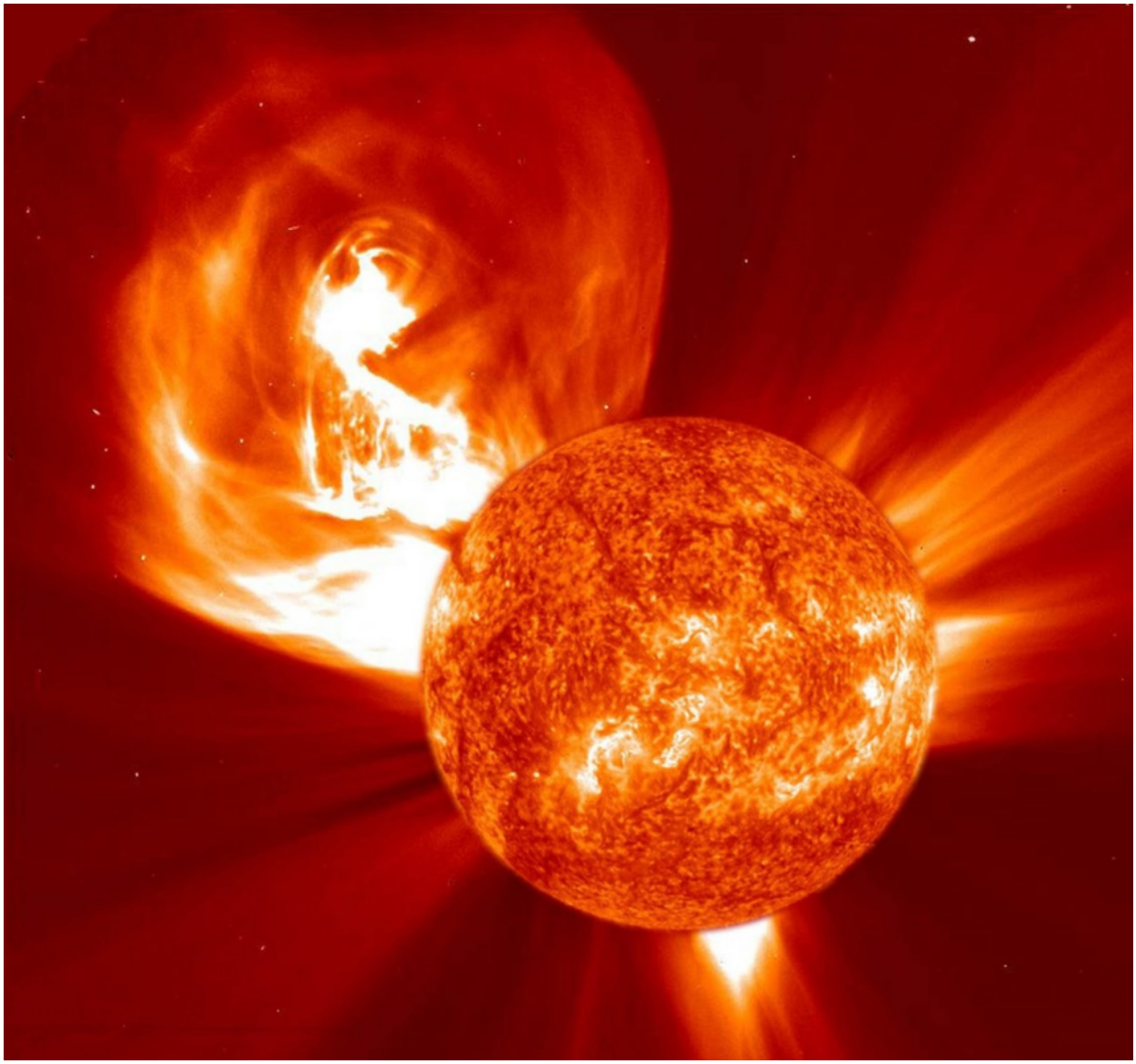
EMBRACE — Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial
http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/pt/

abundância suficiente para criar a camada de ozônio. Felizmente, hoje a camada de ozônio nos protege da radiação UV das explosões solares, assim como nossa magnetosfera nos protege das partículas energéticas do Sol e da Galáxia.

Com o objetivo de melhor entender o Sol, em 2018 foi lançada a sonda Parker Solar Probe da NASA, em homenagem ao físico solar Eugene Parker (responsável por desenvolver a teoria do vento solar e da forma espiral do campo magnético solar no meio interplanetário). Será a sonda que mais se aproximará do Sol, ficando a apenas 9 raios solares de distância. Os principais objetivos desta missão são:

* desvendar a fonte de energia do

Abaixo
Enorme ejeção de matéria coronal , registrada em 4 de janeiro de 2002 pelo consórcio SOHO/LASCO (Crédito: Solar Dynamics Observatory/NASA/ESA).

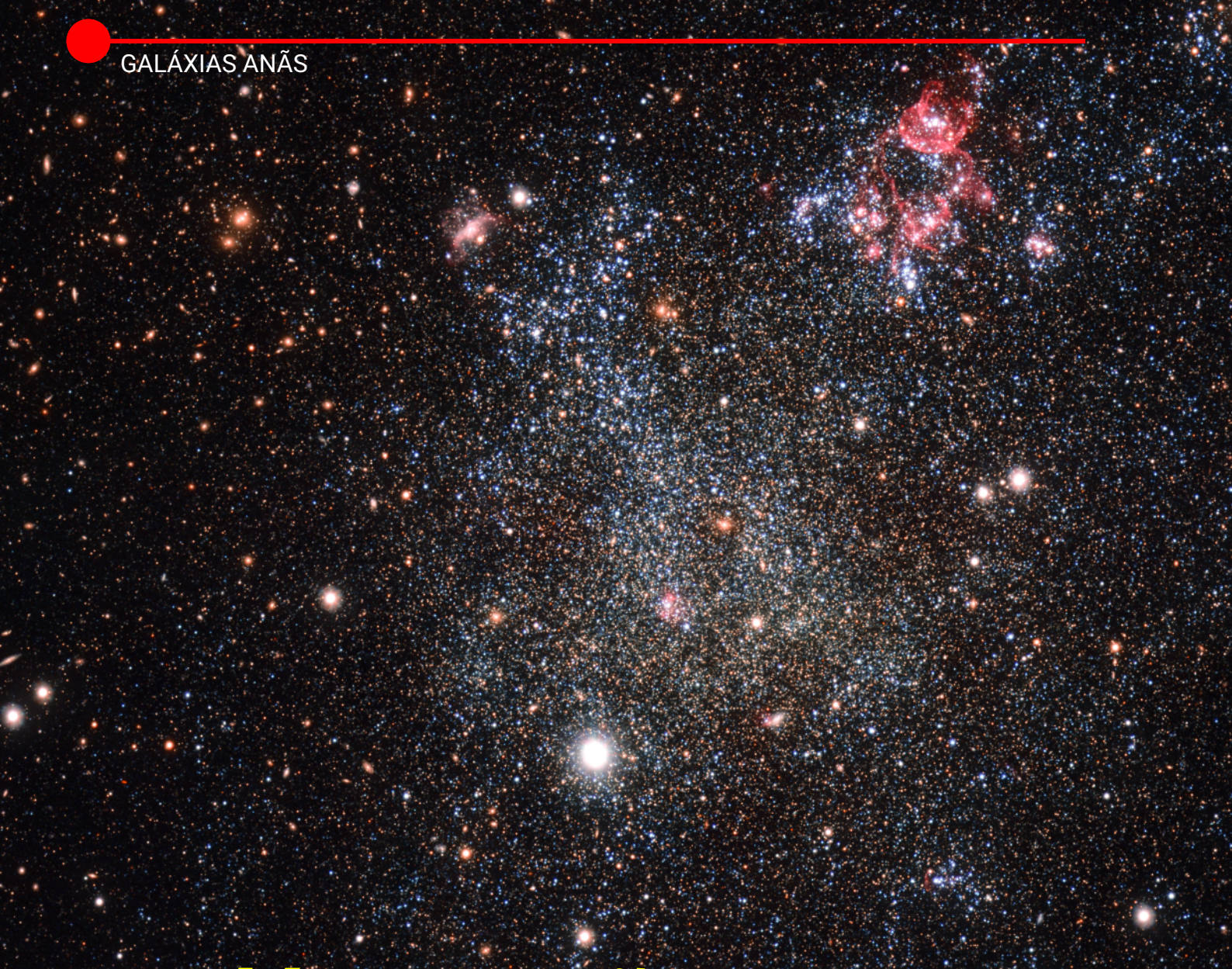


aquecimento da coroa e da aceleração do vento solar;
* determinar a estrutura e dinâmica dos campos magnéticos na fonte do vento solar;
* determinar quais mecanismos aceleram e transportam as partículas energéticas.

O Sol certamente é um dos temas mais quentes do momento e os físicos solares estão animados com as descobertas das próximas décadas! •

Adriana Valio
Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie
avalio@craam.mackenzie.br

Acima
Concepção artística da sonda Solar Parker diante de uma imagem do Sol em raios X. (Crédito: NASA)



Galáxias anãs

É verdade! Existem galáxias anãs, ao lado das quais a Via Láctea pareceria um monstro. E nessas galáxias anãs pode residir o segredo sobre como as galáxias se formam. Quer saber mais? Dê uma lida nesse artigo.

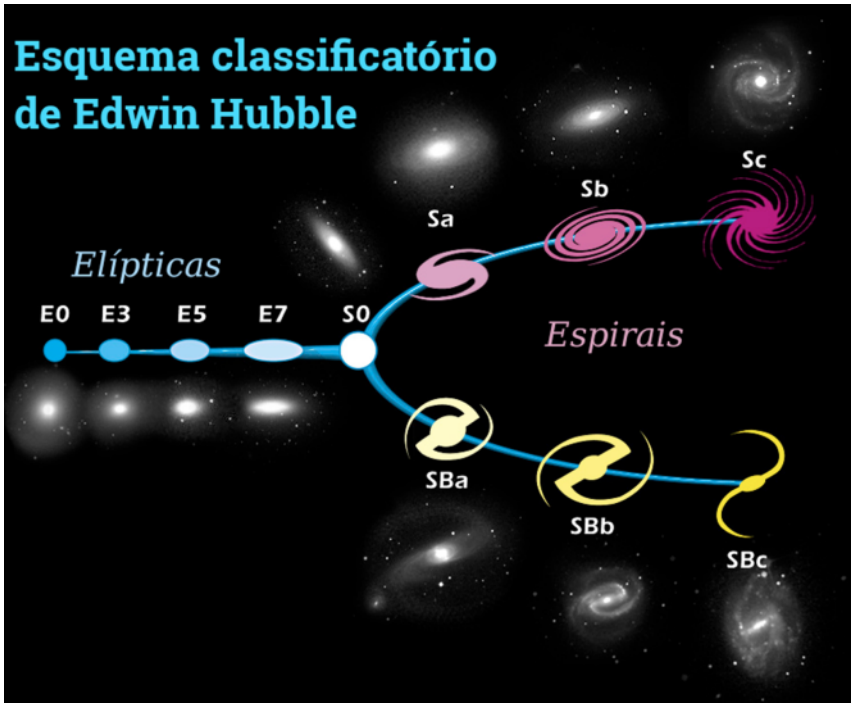
As *galáxias anãs*, embora tenham pequenas dimensões, baixas massas, estrutura simples e serem difíceis de observar, são de extrema importância em várias áreas da astronomia. Elas são as galáxias mais abundantes no Universo e fundamentais em estudos de cosmologia, sobre matéria escura, formação de galáxias, produção de elementos químicos, formação de estrelas, entre muitos outros. A história sobre o que sabemos delas, porém, é ainda bem recente.

Classificação

Até cem anos atrás, considerava-se que a Via Láctea fosse todo o universo conhecido. Os astrônomos buscavam nessa época apenas estimar a dimensão da Galáxia calculando a distância das estrelas observáveis e fazendo um mapeamento destas. Nessa busca foram encontrados objetos com características visuais que os distinguiam das estrelas: eles apresentavam um aspecto nebuloso e esfumaçado. Eles foram chamados de *nebulosas*. Surgiu então, entre os astrônomos, uma discussão sobre a natureza desses objetos. Seriam eles corpos celestes na nossa Galáxia ou os universos-ilhas propostos por Immanuel Kant em 1775? Segundo este, seria natural imaginar que as nebulosas fossem sistemas estelares similares à Galáxia, que observados a grandes distâncias apresentariam o aspecto nebuloso e difuso descrito. Somente na década de 1920, com a determinação da distância de uma estrela variável, observada por E. Hubble, no sistema de Andrômeda, é que se chegou à conclusão de que esse sistema só poderia ser outra galáxia. Tal como Andrômeda, várias outras nebulosas eram, de fato, outras galáxias, tão grandes e exuberantes como a nossa e muito afastadas de nós. Essas novas galáxias apresentavam uma grande variedade

Na página anterior
IC 1613, uma galáxia anã que orbita ao redor da Via Láctea. Imagem capturada com a OmegaCAM do VLT (Crédito: ESO/VST)

Abaixo
Imagem da Galáxia Irregular Anã NGC 1140, a 60 milhões de anos-luz na constelação de Erídano (Crédito: NASA/Hubble)



Acima
Esquema da Classificação de Hubble, também conhecido como *Diagrama de Diapasão* ou *Diagrama de Forquilha*. A haste é ocupada galáxias elípticas, enquanto as duas pontas contém as galáxias espirais com e sem barra. (Crédito: WikiCommons)

de formas e diferenças nas propriedades observadas. Como, então, entender e estudar esses objetos?

Hubble propôs um sistema simples para classificação de galáxias. Ele as dividiu em três tipos: elípticas, espirais e espirais barradas. As galáxias elípticas possuem formato esférico, sem qualquer outro componente, estrelas majoritariamente velhas, quase nenhum gás e quase nenhuma formação estelar. As espirais são caracterizadas pela presença de duas grandes estruturas, um bojo central aproximadamente esférico e um disco com braços espirais. Possuem estrelas antigas e novas, grande fração de gás e formação estelar ativa, especialmente no disco. As espirais barradas, além dessas duas estruturas, apresentam uma barra ligando os braços do disco ao bojo.

Somente mais tarde foi estabelecida uma nova categoria de galáxias: as *anãs*. Como é definida, porém, uma *galáxia anã*? De uma maneira geral todas elas possuem características similares: a massa total é muito menor que a da nossa Galáxia (entre mil e cem mil vezes), as dimensões são pequenas (raios aproximadamente mil a dez mil vezes menor) e os brilhos também são bem mais fracos. A partir disso, alguns critérios foram estabelecidos para a classificação de uma galáxia como anã: ela deve possuir dimensões de um aglomerado estelar, conter um halo de matéria escura, possuir estrelas com diversas faixas de idades e ter tido enriquecimento químico. Mesmo com um critério estabelecido para sua classificação, o estudo dessas galáxias não é simples. Por serem objetos extremamente fracos, a sua detecção é muito difícil, principalmente quando estão afastadas de nós. Por isso, além de observações, estudos teóricos são fundamentais para entendê-las.

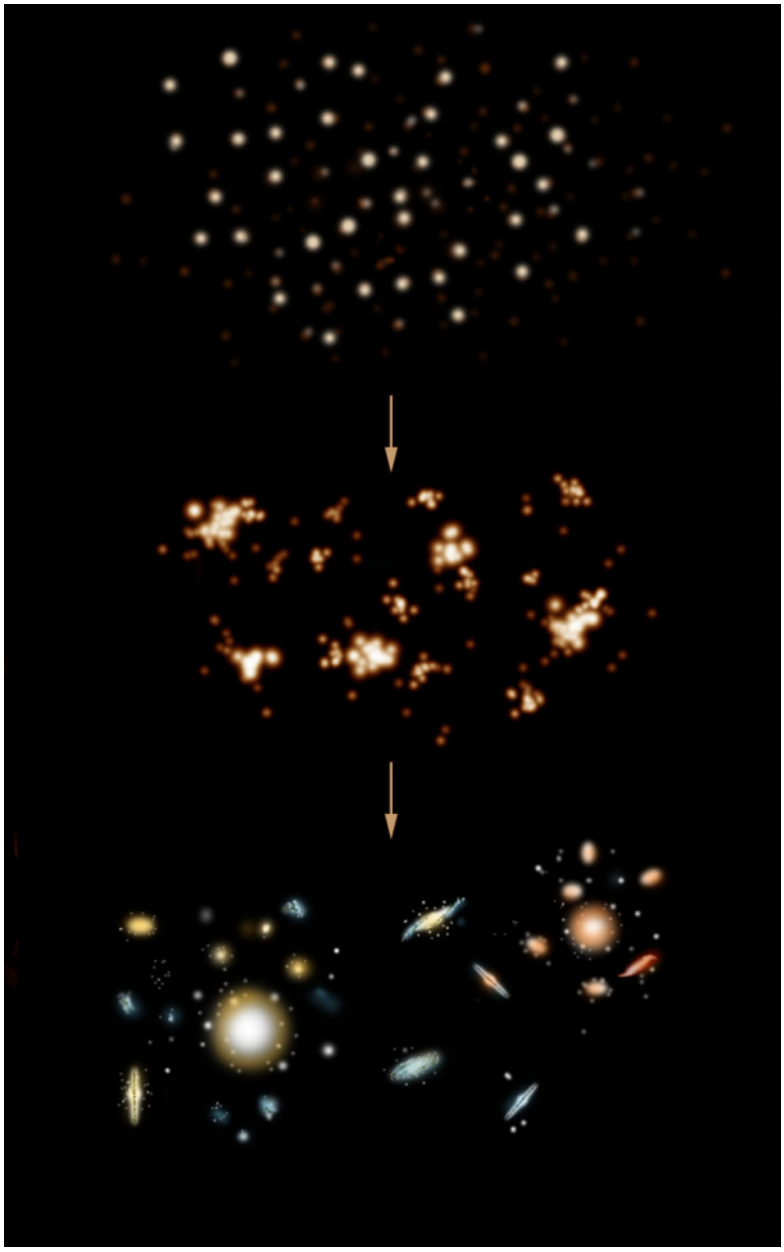
Relembre

Tratamos sobre a estrutura de uma galáxia espiral, a Via Láctea, na Revista Brasileira de Astronomia, n.º 1.

Modelos teóricos de formação

Uma ferramenta importante em estudos teóricos é a utilização de simulações computacionais que permitem testar a teoria e comparar os resultados com observações. Um dos modelos mais utilizados nos estudos de galáxias é o modelo cosmológico de formação de estruturas, que procura explicar a evolução do universo a partir dos instantes iniciais e propor um cenário para a formação e evolução de grandes estruturas como galáxias e aglomerados de galáxias. Os resultados dessas simulações sugerem que as galáxias anãs são as primeiras galáxias a serem formadas. No início da evolução do universo variações de densidade na distribuição de matéria escura criam regiões relativamente pequenas (em escala galáctica) de alta densidade que exercem atração gravitacional na matéria ao seu redor. O gás então começa a se concentrar formando protogaláxias, com dimensões e massas semelhantes às de galáxias anãs.

Após a formação da protogaláxia, o gás continua colapsando para a região central criando nuvens de gás chamadas de regiões de formação estelar onde estrelas de diferentes massas e tamanhos surgem. A galáxia anã está, então, formada. A partir desse ponto, as galáxias anãs continuam evoluindo, com algumas interagindo e se fundindo umas com as outras gerando grandes galáxias como a Via Láctea e Andrômeda e outras evoluindo isoladamente até a época atual.



Acima
Formação hierárquica de galáxias: as grandes estruturas galácticas se formam a partir da aglutinação de estruturas menores (Crédito: Gemini Observatory)

Anãs no Grupo Local

Do ponto de vista observacional, as galáxias mais próximas são aquelas sobre as quais há um maior número de informações. No Grupo Local são observadas duas grandes galáxias espirais, Andrômeda e a Via Láctea, cercadas por quase cinquenta galáxias menores que as orbitam, algumas isoladamente outras sofrendo atração gravitacional de um dos grandes sistemas. Há sinais claros, por exemplo, de interação da galáxia anã Sagittarius com a Via Láctea e evidências de que as Nuvens de Magalhães estão a caminho de se fundirem com a Galáxia, conforme previsto pelos modelos cosmológicos. Entretanto, há também galáxias satélites mais afastadas, como Cetus e Tucana, que parecem não interagir nem com a Via Láctea, nem com Andrômeda. Acredita-se que esses pequenos sistemas estelares isolados possam ser os remanescentes dos blocos que deram origem às duas grandes galáxias. Somente estudos detalhados das anãs no Grupo Local podem esclarecer como foi a sua formação e evolução e dos grandes sistemas estelares que dominam o Grupo.

Nas últimas décadas foi possível determinar com precisão em galáxias anãs locais abundâncias de uma grande quantidade de elementos químicos, idades estelares, as massas das galáxias, a quantidade de matéria escura e diversas outras grandezas. O estudo dessas propriedades levou a uma divisão de tipos de galáxias anãs, que pode ser resumido em duas classes. As galáxias de uma das classes apresentam um formato esférico, nenhum gás, ausência de formação de estrelas, grande quantidade de estrelas com idades superiores a dez bilhões de anos e pouco enriquecimento químico. Fazem parte desse grupo as *esferoidais anãs*, as *elípticas anãs* e as recentemente descobertas *anãs ultrafracas*. Em contraste, as anãs com alta taxa de formação de estrelas, grande fração de gás, sem forma definida, pouca quantidade de estrelas antigas e alta fração de estrelas com idades inferiores a um bilhão de anos, fazem parte da outra classe. Entre essas encontram-se as *compactas azuis*, as *irregulares anãs* e as *galáxias H II*. Há ainda as chamadas *galáxias de tipo transicional*, objetos que apresentam características intermediárias entre esses dois tipos.

As primeiras galáxias esferoidais anãs, Sculptor e Fornax, foram descobertas em 1938 por Harlow Shapley, ao identificar em placas fotográficas sistemas estelares estendidos e extremamente fracos, diferentes dos até então conhecidos. Posteriormente foram identificadas outras esferoidais como Ursa Minor em 1955, Carina em 1977 e Sagittarius em 1994. Após a descoberta inicial, os astrônomos imaginaram que as esferoidais anãs fossem sistemas simples, si-

milares a grupos de estrelas dentro da Galáxia. Com o passar do tempo, observações detalhadas alteraram esse cenário de forma drástica. Atualmente, sabe-se que essas galáxias, apesar de possuírem uma estrutura simples, tiveram uma evolução complexa.

Apesar de todas as esferoidais anãs apresentarem uma fração de estrelas com idades superiores a dez bilhões de anos, os detalhes de como as estrelas foram formadas são diferentes de uma galáxia para outra. Alguns sistemas, como Draco, Ursa Minor e Sextans formaram todas suas estrelas durante três a sete bilhões de anos enquanto outros, como Fornax, formaram estrelas continuamente até pouco tempo

Abaixo
Galáxia esferoidal anã Fornax, imagem composta de dados do Digitized Sky Survey 2.

atrás. Já em Carina, a formação de estrelas ocorreu em episódios separados por períodos sem atividade, ou seja, são encontrados nessa galáxia grupos de estrelas com idades médias bem diferentes. Os motivos dessas diferenças e o porquê da interrupção ou do término da formação das estrelas ainda não são totalmente conhecidos. Acredita-se que os movimentos de gás dentro da galáxia, para fora ou dentro dela tenham uma grande influência. Gás que cai na galáxia favorece a formação de novas estrelas, enquanto gás jogado para fora diminui ou cessa o aparecimento de estrelas.

As diferenças na formação estelar de cada galáxia se refletem nas suas estrelas e nas suas propriedades químicas. A época em que cada estrela é formada define sua idade e são as estrelas que produzem a maior parte dos elementos químicos de uma galáxia. As altíssimas temperaturas e densidades no centro das estrelas são suficientes para que núcleos de átomos leves, como hidrogênio, hélio, carbono, se unam e formem elementos mais pesados como oxigênio, silício, magnésio, entre outros. Como resultado desse processo, elementos químicos mais complexos são gerados e sua quantidade aumenta com o tempo, ou seja, a galáxia sofre um enriquecimento químico. Nas esferoidais anãs a quantidade de ferro cresce contínua e rapidamente nos primeiros milhões de anos para, em seguida, permanecer aproximadamente constante, normalmente abaixo do valor solar. O mesmo padrão é observado na Via Láctea, porém em um ritmo acelerado, quando comparado às anãs, e com valores finais mais altos. De maneira geral, em todas as esferoidais anãs a maior parte das estrelas têm em média entre 10 e 1000 vezes menos quantidade de ferro (comparado ao hidrogênio) que o Sol.

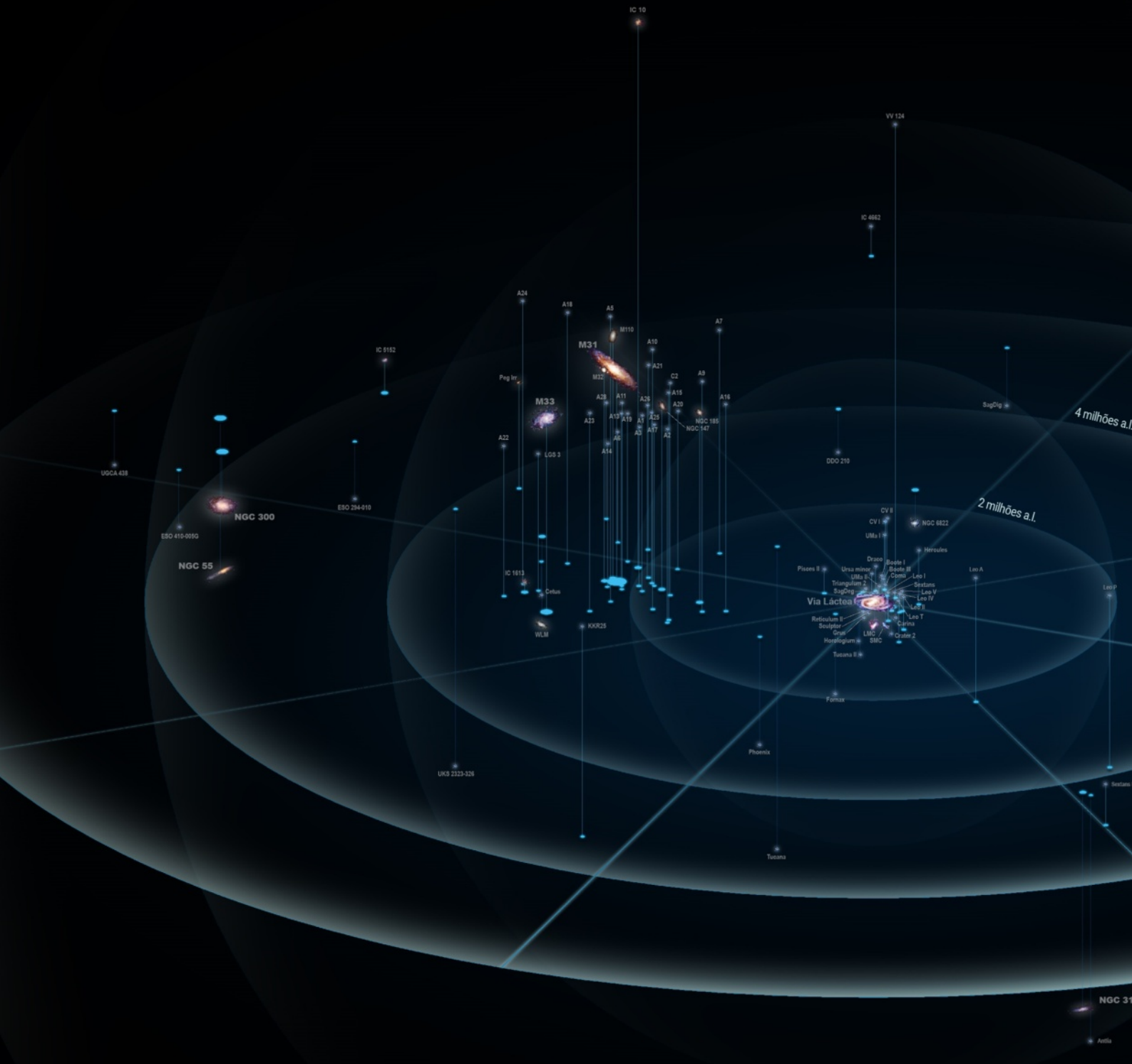
Quase todas as anãs irregulares, por outro lado, estão formando estrelas atualmente em uma taxa de moderada para alta. Algumas, apesar de pequenas e com baixas massas, formam mais estrelas que a Via Láctea atualmente. Entretanto, essa formação ocorre em *surtos*, ou seja, há períodos curtos de milhões de anos quando a taxa de formação de estrelas é alta e longos períodos em que nada acontece. Essa característica leva a um padrão particular nas propriedades químicas. As estrelas das irregulares anãs possuem em média menor quantidade de oxigênio que o Sol, mas maiores do que a média das esferoidais. Mesmo formando uma grande quantidade de estrelas em cada episódio de formação estelar a evolução desse tipo de galáxia é lenta, devido aos longos episódios de calmaria. Um reflexo desse processo aparece na maneira como a quantidade de oxigênio aumenta com o tempo. Ao

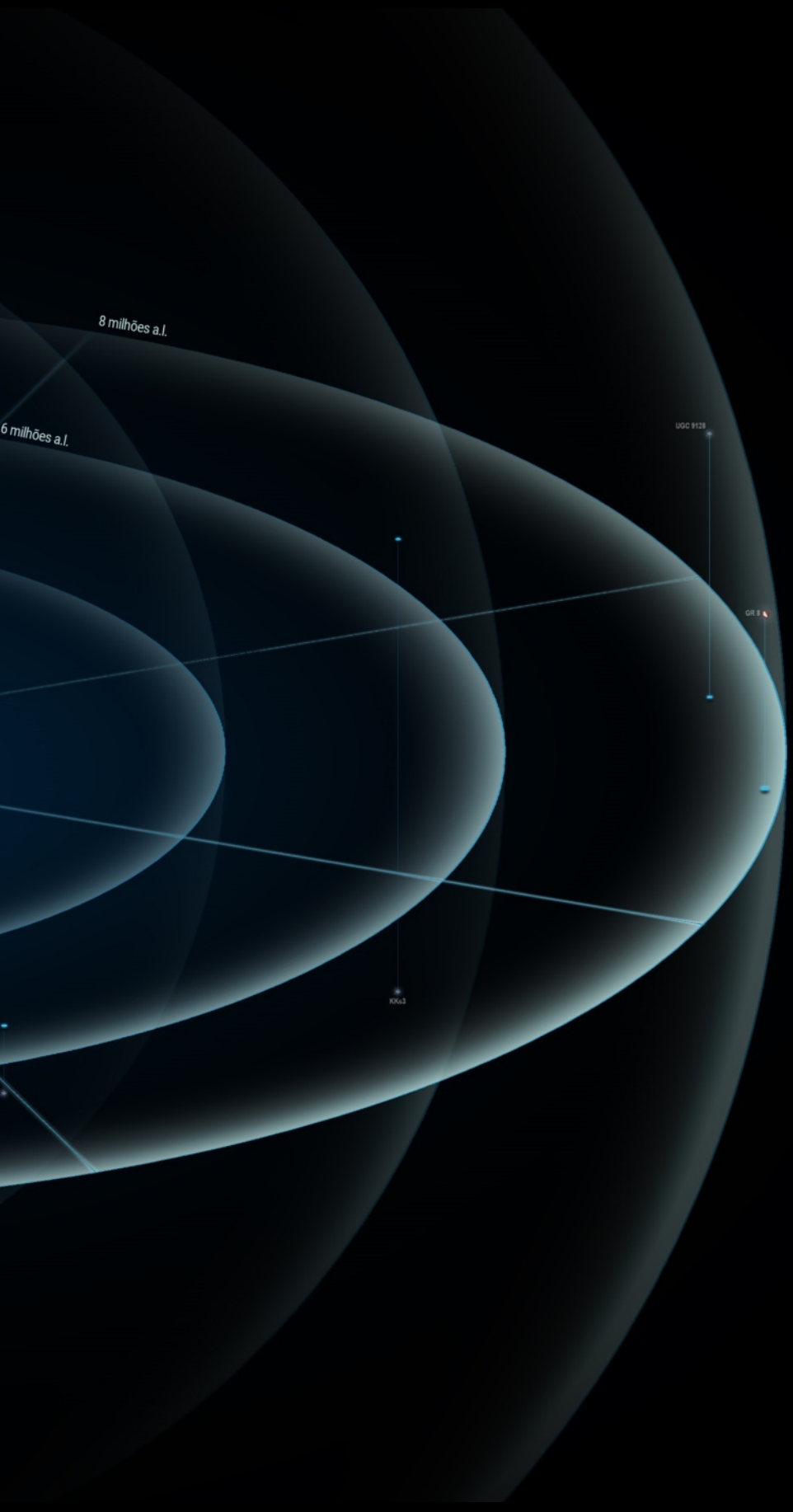
contrário das esferoidais anãs, esse aumento não é contínuo, ele acontece em etapas, chegando a valores aproximadamente dez vezes menores que o observado no Sol.

Outra diferença entre essas galáxias é a quantidade de gás estimada em cada tipo. As irregulares possuem até 90% da sua massa visível em forma de gás, enquanto nas esferoidais nenhum gás foi detectado. A grande quantidade de gás nas primeiras explica a alta taxa de formação estelar e ausência de estrelas novas nas outra é devido a não haver mais gás disponível para formá-las. A ausência de gás é uma característica particular das esferoidais anãs, porém ainda não se sabe com certeza como esse gás foi consumido. A simples transformação de gás em estrelas não é suficiente para consumi-lo por completo; é necessário um ou mais processos físicos para que isso aconteça. Há um consenso de que o conteúdo gasoso dessas galáxias tenha, em algum momento da sua evolução, sido jogado ou puxado para fora do sistema, entretanto, astrônomos ainda buscam entender como isso ocorre.

As propriedades gerais dos diferentes tipos de anãs levaram à hipótese de que poderia haver uma conexão entre esses tipos de galáxia, ou seja, todas elas fariam parte de uma único tipo de galáxia, mas estariam sendo observadas em estágios diferentes da sua evolução. As irregulares anãs, com muito gás e alta taxa de formação estelar seriam o estágio inicial da evolução, quando a galáxia estaria no começo da sua formação ainda transformando seu gás em estrelas. Com a passagem do tempo esse gás vai sendo consumido e o número de estrelas aumentando. Efeitos internos e externos contribuem para a diminuição da quantidade de gás até a sua exaustão. Nesse ponto, o sistema passa a ter as principais características de uma esferoidal anã: ausência de gás, estrelas antigas e nenhuma formação de novas estrelas. Durante a evolução, quando a galáxia possui propriedades intermediárias (gás, estrelas, formação estelar moderada) ela se assemelha às galáxias de tipo transicional. Assim, faz sentido pensar em um cenário em que as galáxias irregulares representem a fase jovem; as transicionais, a fase intermediária; e as esferoidais anãs, a fase final da evolução de um único tipo de galáxia. Somente estudos individuais e minuciosos de cada um desses tipos de galáxia poderá confirmar ou refutar essa hipótese •

Gustavo Amaral Lanfranchi
Universidade Cruzeiro do Sul
gustavo.lanfranchi@unicsul.br


IC 10
VV 124
IC 4662
M31
M33
M32
M110
Peg Irr
IC 5152
A24
A18
A5
A7
A10
A21
C2
A9
A15
A16
A28
A11
A26
A20
A23
A19
A1
A29
A17
A3
A2
A6
A14
NGC 185
NGC 147
A22
LGS 3
UGCA 438
ESO 294-010
NGC 300
ESO 410-005G
NGC 55
IC 1613
Cetus
WLM
KKR25
UKS 2323-326
SagDig
DDO 210
4 milhões a.l.
2 milhões a.l.
CV II
CV I
NGC 6822
UMa I
Hercules
Draco
Pisces II
Ursa minor
Boote I
Boote III
Coma
Leo I
UMa II
Triangulum 2
Sextans
SagDeg
Leo V
Leo IV
Via Láctea
Leo II
Leo T
Reticulum II
Sculptor
Carina
Grus
LMC
SMC
Crater 2
Horologium
Tucana II
Fornax
Phoenix
Tucana
Leo A
Leo P
Sextans
NGC 3
Antlia



Página dupla
Mapa que representa a distribuição tridimensional do Grupo Local e nossa vizinhança extragaláctica. O centro das esferas é posicionado no centro da Via Láctea. A escala de distâncias está marcada em anos-luz. Barras verticais azuis dão uma noção da distância dos objetos situados acima do plano da Via Láctea; as barras prolongam-se até este plano, marcando com um ponto azul claro a distância projetada. Duas galáxias espirais dominam a distribuição de massa do Grupo Local: a Via Láctea e M 31 (Andrômeda), cada qual cercada por uma corte de galáxias anãs
(Crédito: Antonio Ciccolella/WikiCommons)

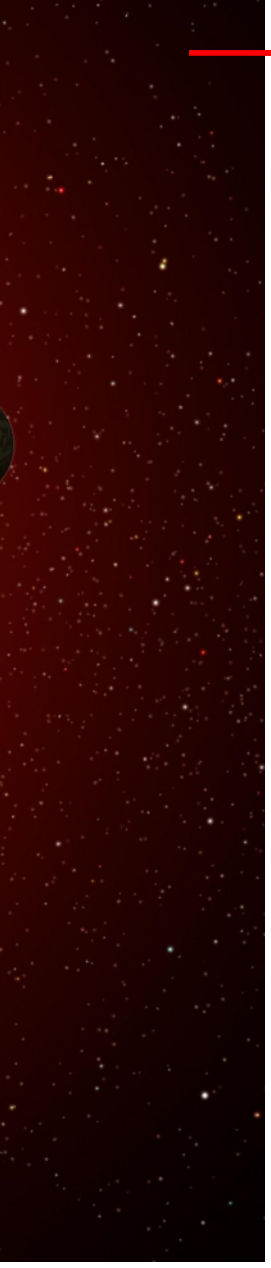
Astrobiologia

Uma ciência convergente

Muita gente tem-se interessado pela busca de vida fora da Terra. Esse tópico instigou a imaginação da humanidade desde a antiguidade, mas só atualmente temos condição de estudá-lo com todo o rigor científico.

A astrobiologia, na visão atual, é entendida como um campo de pesquisa dedicado a estudar a origem, evolução, distribuição e futuro da vida, seja na Terra ou fora dela. Dessa forma, algumas das principais perguntas que os astrobiólogos tentam responder são: "*Como a vida se originou e evoluiu na Terra?*", "*Existe vida em outros planetas?*" e "*Como a vida se adaptou a um planeta em constante mudança e como ela o fará no futuro?*". A astrobiologia propõe uma abordagem convergente de diferentes disciplinas, baseada nas técnicas e rigor da ciência moderna para essas questões, as quais são apenas o início para uma melhor compreensão do fenômeno da vida no Universo e vêm sendo feitas pela humanidade há milênios.

O termo astrobiologia vem sendo usado em diferentes contextos, desde a década de 40. Seu primei-



Na página anterior
Representação artística de uma estrela anã M rodeada por planetas; alguns podem estar na Zona Habitável, onde a água poderia existir em forma líquida sobre a superfície planetária (Crédito: NASA)

ro registro na língua portuguesa data de 1958, quando o biólogo paulista Flávio Augusto Pereira escreveu um livro intitulado *Introdução à Astrobiologia*. Antes do termo astrobiologia se consolidar, diversos grupos e associações já vinham utilizando os termos *exobiologia*, *bioastronomia* e *cosmobiologia* que, apesar de estarem hoje caindo em desuso, ainda são encontrados, com significados muito similares ao da atual astrobiologia. O termo *astrobotânica* também foi usado ao longo da história, uma vez que se acreditava, no início do século XX, que as plantas seriam as formas de vida mais resistentes e as candidatas mais prováveis a habitarem outros planetas.

Para compreender a origem da vida e possibilidade de vida extraterrestre é necessário o uso de um exemplo bem conhecido como comparação. Dessa maneira, a astrobiologia se baseia fortemente na compreensão da vida na Terra. Essa abordagem também nos direciona na busca de quais organismos são mais propícios a existirem em outros ambientes e como detectá-los. Sabe-se que os primeiros organismos a surgirem em nosso planeta foram os unicelulares, que permaneceram dominantes por bilhões de anos até o surgimento dos multicelulares. Assim, um dos principais objetos de estudo da astrobiologia são micro-organismos, como as bactérias, arqueias e leveduras, especialmente as resistentes a ambientes extremos, os extremófilos.

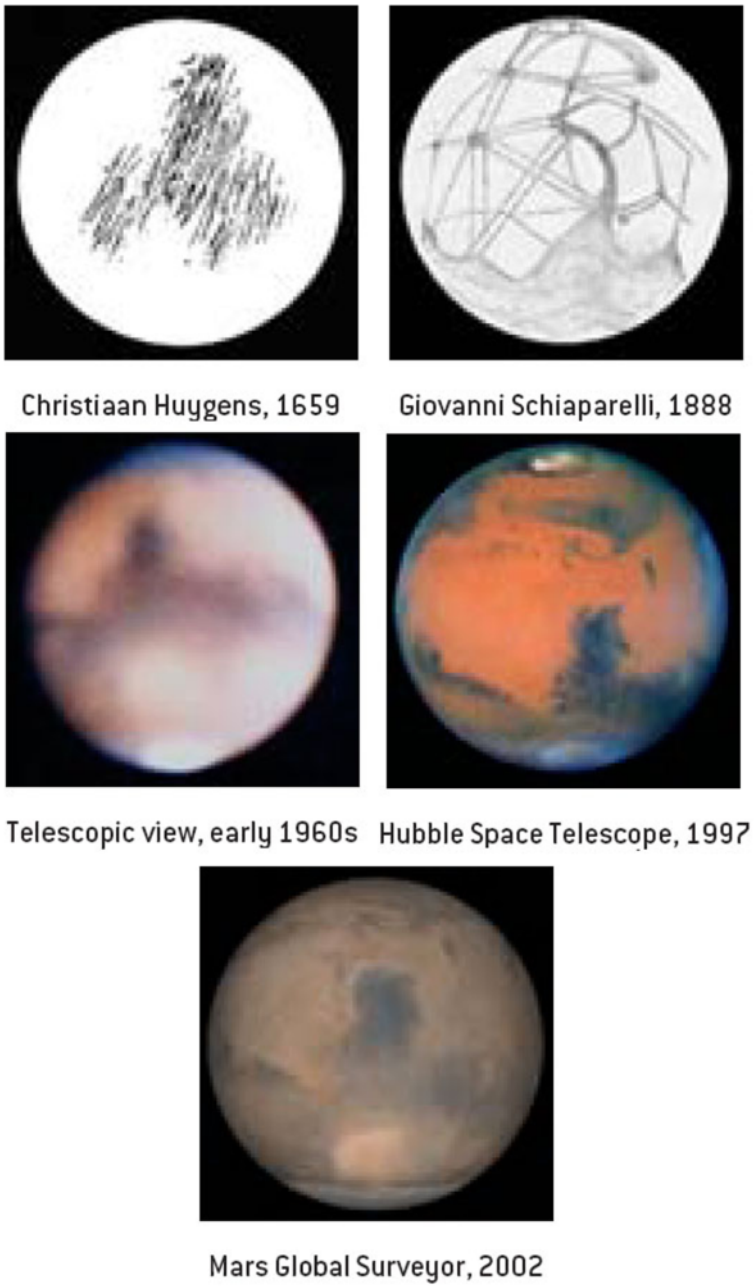
Da corrida espacial à astrobiologia moderna

O avanço da tecnologia, ao longo da história da humanidade permitiu estudos mais detalhados sobre o nosso planeta, aumentando nosso conhecimento sobre os processos naturais, fato que aconteceu em diversas áreas da ciência, incluindo a astrobiologia.

Se, na Grécia antiga, as discussões sobre possibilidade de vida fora da Terra foram pautadas em pressuposições filosóficas, uma vez que pouco se conhecia sobre outros planetas, a invenção dos telescópios permitiu os primeiros estudos científicos e sistemáticos sobre esses corpos. Ainda que muito rudimentares se comparados ao que temos hoje, esses estudos foram essenciais para incentivar novas gerações de cientistas e inventores a avançarem no tema.

Ao compararmos os registros de observações do planeta Marte tomadas ao longo do tempo, é inegável notar como o avanço tecnológico possibilitou novas descobertas e o aumento de nosso conhecimento.

Nessa direção, a astrobiologia moderna foi um avanço a partir



Acima
Diferentes registros de observações de Marte ao longo do tempo (Crédito: WikiCommons)

da exobiologia que, por sua vez, não pode ser entendida de forma desconectada da história da humanidade no século XX. A segunda metade daquele século foi marcada pela Guerra Fria, disputa por hegemonia e poder entre as duas potências econômicas do pós-Segunda Guerra Mundial: Estados Unidos e União Soviética. Essa disputa se manifestou, entre outros aspectos, na dominação tecnológica, e talvez seu maior exemplo seja a Corrida Espacial. Um de seus expoentes foi a chegada do homem na Lua, há exatos 50 anos, com Neil Armstrong, Buzz Aldrin e Michael Collins, em feito que impressionou o mundo na época.

Durante esse processo de corrida espacial, surgiu a preocupação com os danos causados pelo ambiente espacial aos astronautas e cosmonautas, dando origem à medicina espacial. Mas, adicionalmente, a NASA concluiu que seria de extremo interesse realizar "investigações sobre o efeito do ambiente espacial em organismos vivos, incluindo a busca por vida extraterrestre". Na verdade, o interesse pela resposta de organismos vivos em condições espaciais e pela possibilidade de vida fora da Terra foi impulsionado pelo medo da contaminação cruzada: havia a preocupação que, caso existisse vida fora da Terra, essa pudesse ser trazida para a Terra, trazendo doenças catastróficas, ao mesmo tempo em que se procurava evitar a contaminação de outros planetas e corpos celestes com organismos da Terra. Desde o princípio da corrida espacial e até os dias de hoje, a proteção planetária é uma das principais

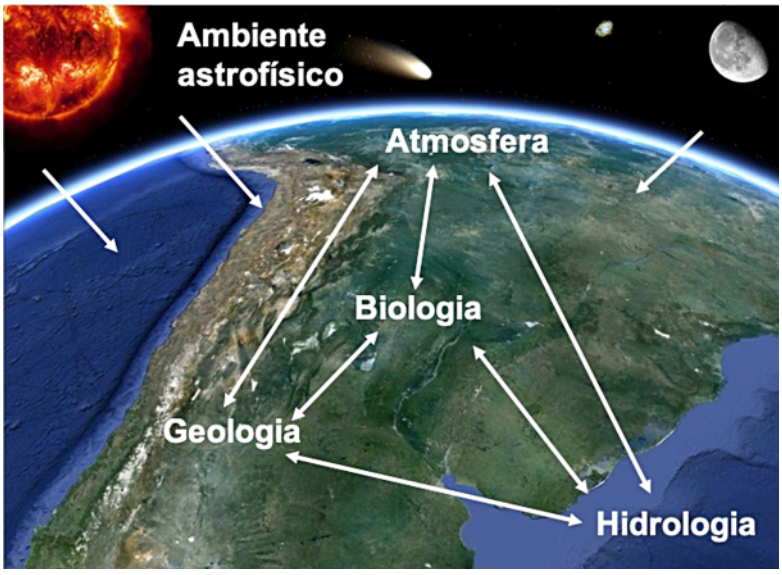
preocupações dos programas de exploração espacial.

Surgiu, como consequência desses interesses e preocupações, o programa de exobiologia da NASA, assim batizada para ser diferenciada da biologia convencional. Instituída na década de 60, essa nova área não foi, entretanto, um consenso na comunidade científica norte-americana. Ramos mais tradicionais, como a biologia evolutiva, por exemplo, já haviam tido o financiamento abalado pelo surgimento da biologia molecular (após a descrição da estrutura do DNA por James Watson e Francis Crick em 1953), e sentiram-se novamente ameaçados na competição por financiamento governamental.

A exobiologia conseguiu se consolidar pelo interesse do governo nessas pesquisas e pelo apoio de nomes fortes na ciência dos Estados Unidos, como o de Joshua Lederberg, prêmio Nobel de Medicina em 1958 por seus trabalhos em genética e criador do termo exobiologia para descrever a busca científica de vida fora da Terra.

Desde o começo da corrida espacial, os cientistas e, particularmente, a NASA, fizeram uso do grande apelo deste tema para justificar, frente à população, os gastos bilionários das missões espaciais. O reconhecido trabalho de divulgação científica que a NASA desenvolveu serviu e serve até hoje para manter ativo esse interesse, fomentando a curiosidade popular. É preciso considerar, também, os impactos sociais e culturais da busca de vida fora da Terra. Esse tema, debatido por séculos tanto nas culturas ocidentais como orientais, rendeu livros científicos e de ficção, motivou a criação de novos e sofisticados instrumentos de pesquisa, influenciou religiões e correntes filosóficas. Atualmente está mais presente que nunca nas artes, filmes e livros. A vida extraterrestre se tornou um fenômeno cultural em nossa sociedade, atraindo enorme interesse da população de todo o mundo.

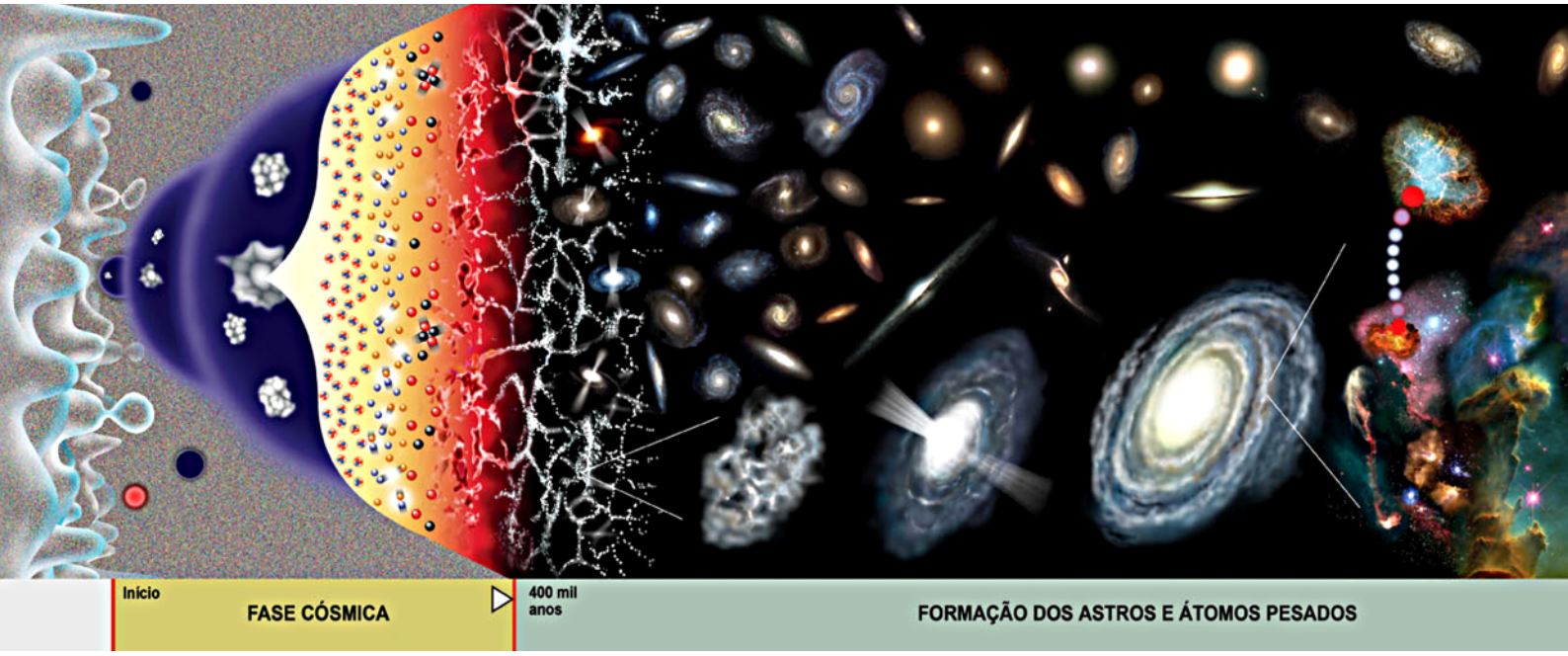
No entanto, a exobiologia, apesar de atraente, levantou muitas críticas. Em especial, ela foi descrita como uma ciência sem um objeto de estudo, uma vez que se propunha a estudar vida fora da Terra, que não sabíamos se existia. Além disso, após cerca de 50 anos de existência, a exobiologia não havia encontrado nenhuma



Abaixo
Na abordagem astrobiológica, a vida no planeta é vista como integrada aos diferentes fenômenos planetários e astrofísicos, em constante interação (Crédito: Douglas Galante).

evidência de vida extraterrestre.

Com o avanço das pesquisas espaciais e as sucessivas dificuldades nas missões de busca de vida fora da Terra, a NASA optou por mudar o enfoque de exo para astrobiologia, criando assim uma ciência com um objeto de estudo mais palpável: a vida na Terra e no Universo. Percebe-se então que a astrobiologia foi criada como uma consequência direta do avanço tecnológico e da conquista do espaço, mas também é resultado das condições políticas, sociais e financeiras, como todas as áreas da atividade humana. Atualmente, estabelece-se como uma área de pesquisa sólida, principalmente pela ampliação de seu escopo e por ter evoluído para se tornar uma ferramenta de integração muito eficiente. Certamente uma das principais características da astrobiologia é sua capacidade de reunir profissionais de diferentes áreas em um enfoque convergente sobre problemas científicos extremamente complexos, mas essenciais para compreendermos o fenômeno da vida no Universo.



Abordagem e temas tratados pela Astrobiologia

De forma geral, a astrobiologia se propõe a entender a vida por um ponto de vista bastante amplo, considerando as diversas interações com o corpo planetário que a abriga e com seu ambiente astrofísico. Essas interações são intrinsecamente dinâmicas, ou seja, mudam com o tempo, e assim

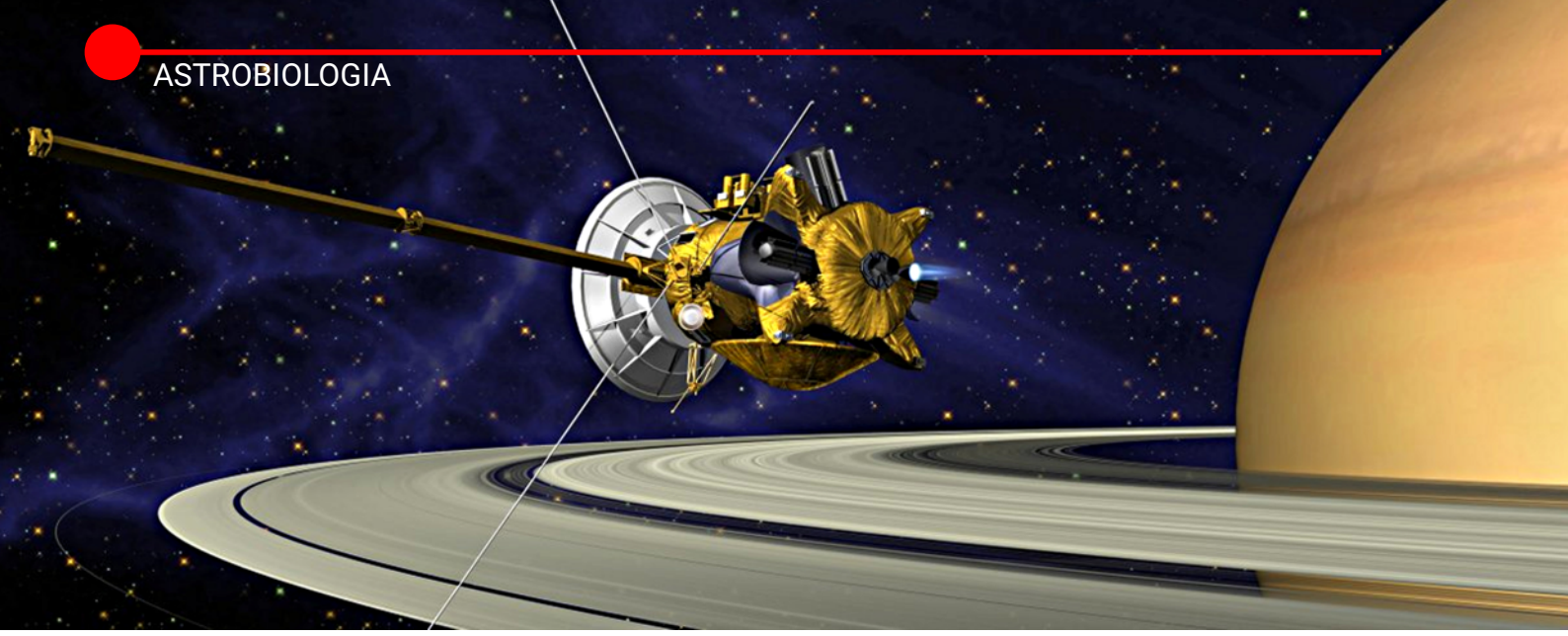
a vida segue a evolução do planeta e do Universo, mas, ao mesmo tempo, também altera seu ambiente, em um ciclo extremamente complexo.

A compreensão da vida no Universo — sua origem, evolução e eventual término, é um tema que requer necessariamente a contribuição de pesquisadores de diferentes áreas, como astrônomos, cientistas planetários, químicos, geólogos, biólogos, e muitas outras, incluindo as Engenharias e até mesmo as Ciências Humanas. Só seremos capazes de encontrar vida em outros planetas, seja do Sistema Solar ou fora dele, se formos capazes de integrar nossos conhecimentos, de maneira a decifrarmos os sinais sutis e complexos da vida. Apesar do paradigma científico-acadêmico contemporâneo criar pesquisadores e alunos cada vez mais especializados em seus respectivos temas de estudo, se quisermos realmente compreender a vida nesse grande contexto é necessário que criemos estratégias para aumentar a comunicação e colaboração entre as áreas. E é nesse ponto que a astrobiologia se mostra como uma poderosa ferramenta, criando a linguagem e a oportunidade de transpor barreiras acadêmicas e de conectar a história da vida, na Terra e no Universo, como um contínuo com os processos astrofísicos.

Página dupla
A vida em um planeta como a Terra está intimamente ligada à evolução física e química de seu ambiente astrofísico (Crédito: Projeto Conexões Cósmicas/ Augusto Damineli, arte de Paulo Roberto F. Santiago).

Astrobiologia no Brasil

Apesar de a astrobiologia, em sua roupagem moderna, ser relativamente recente no Brasil, estu-



Acima
Representação artística da sonda Cassini ao redor de Saturno. A missão Cassini tinha, entre seus objetivos, revelar dados acerca do potencial para existência de vida nas luas do sistema saturniano (Crédito: NASA)

dos em suas diferentes subáreas vêm sendo realizados no país há décadas. Já nos anos 1980, Ricardo C. Ferreira, então professor do Dept.º de Química da UFPE, trabalhava com química prebiótica e origem da vida. A busca de vida fora da Terra foi estudada no final dos anos 1980 e início de 1990, do ponto de vista histórico, por Eduardo Dorneles Barcelos em seu mestrado e doutorado na USP, sob orientação de Shozo Motoyama. Antes disso, em 1958, o biólogo Flávio Pereira, formado em História Natural pela USP e professor do ensino médio, havia escrito um livro intitulado *Introdução à Astrobiologia*, em que compilava grande parte do que se acreditava na época sobre a existência de vida fora da Terra. Apesar de ser escrito antes das missões de exploração espacial, o livro já traz conceitos até hoje usados, como a zona de habitabilidade estelar, à que ele se referia como *ecosfera*.

A astrobiologia começou a se institucionalizar no Brasil a partir de 2006, com a organização do *I Workshop Brasileiro de Astrobiologia*, na Casa da Ciência da UFRJ, que reuniu pesquisadores de diferentes áreas de atuação e permitiu a criação dos primeiros grupos de pesquisa interdisciplinares na área. Diversos projetos de pesquisa foram criados após essa data, e os primeiros doutorados tendo a astrobiologia como tema central foram defendidos por Douglas Galante (2009), em Astronomia (USP), e Ivan Paulino-Lima (2010), em Ciências Biológicas (UFRJ). Em 2010 foi iniciada a instalação do Laboratório de Astrobiologia, na USP, em um esforço multi-institucional para estudar a biodiversidade de nosso planeta e compreender suas conexões com os sistemas planetários.

Em 2011, tivemos a criação do Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia, financiado principalmente pela USP e Fapesp, que realizou a primeira escola internacional de astrobiologia no país, além de possibilitar nossa associação como parceiro internacional do Instituto de Astrobiologia da NASA e da Rede Europeia de Associações de Astrobiologia. Em 2017 foi fun-

dada a Sociedade Brasileira de Astrobiologia, que, em 2019, conta com cerca de 100 associados. Com o objetivo de congregar a comunidade, a sociedade vem organizando reuniões anuais em um esforço de facilitar a comunicação entre pesquisadores de diferentes áreas, bem como de auxiliar a formação de alunos por meio da organização de minicursos e eventos paralelos em temas de interesse. Esses esforços estão permitindo que o Brasil se torne um importante e atuante membro da comunidade científica internacional, com o intercâmbio de alunos, pesquisadores e conhecimento, garantindo, com o tempo, a fixação da astrobiologia como uma área de pesquisa científica reconhecida e capaz de produzir resultados de interesse acadêmico e social •

Douglas Galante
Labor. Nacional de Luz Síncroton
douglas.galante@lnls.br

Fabio Rodrigues
farod@iq.usp.br
Universidade de São Paulo

Márcio G. B. Avellar
mgb.avellar@iag.usp.br
Universidade de Sâo Paulo

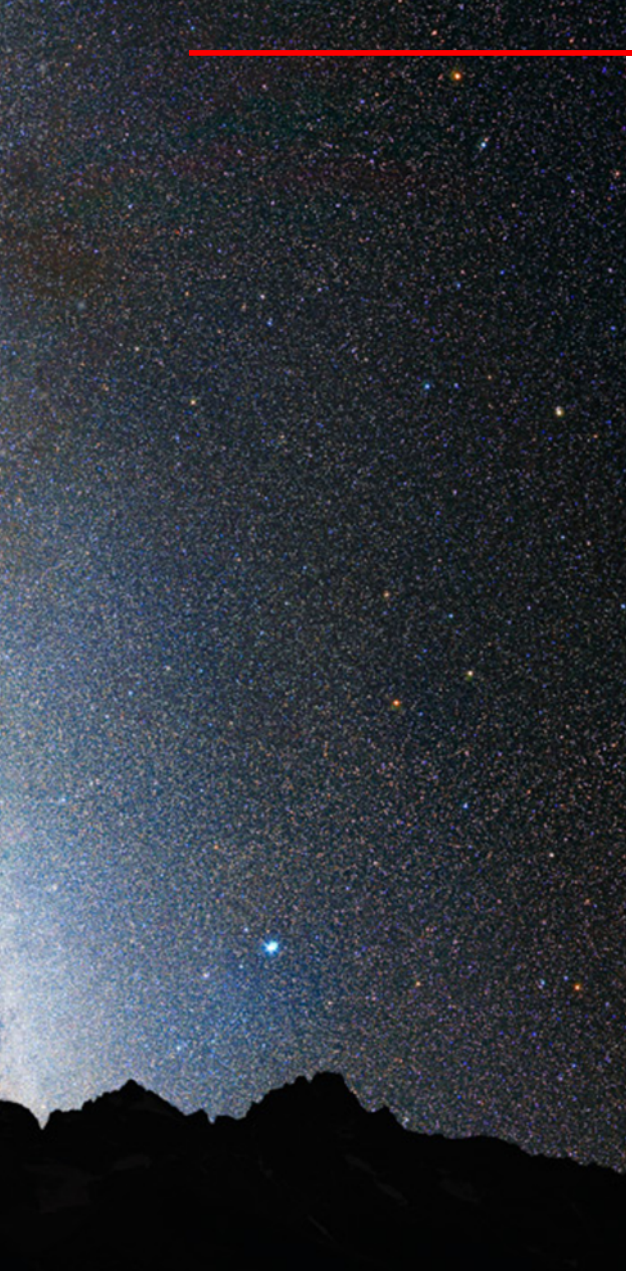
Abaixo
Participantes da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Astrobiologia em 2018 (Crédito: Arquivo pessoal de Douglas Galante).

Evolução de Galáxias

Mesmo um sistema tão grande e complexo como uma galáxia evolui, especialmente quando possui galáxias vizinhas com as quais interage, trocando gás e estrelas. Eventualmente algumas podem ser fundir. Embora as escalas de tempo para esses processos sejam grandes, não se engane: é um fenômeno bem comum!

Instantes após o Big Bang, o Universo era um meio extremamente quente e denso — as partículas elementais navegavam o espaço a velocidades tais, que mesmo as colisões fracassavam em gerar produtos estáveis. Porém, apenas segundos depois, a temperatura no Universo caiu o suficiente para possibilitar a formação dos primeiros átomos estáveis de hidrogênio a partir da combinação de um elétron e um próton. Nesse momento criou-se o combustível básico que alimenta até hoje a formação de estrelas em galáxias — gás de hidrogênio.

Nossa Galáxia, a Via Láctea, é um sistema composto principalmente de estrelas, com gás e poeira ocupando em baixas quantidades o espaço entre estas. De um modo geral podemos dizer que na Via Láctea o gás e poeira se concentram num disco fino onde ativamente se formam novas gerações de estrelas, que no centro do sistema se encontra um es-



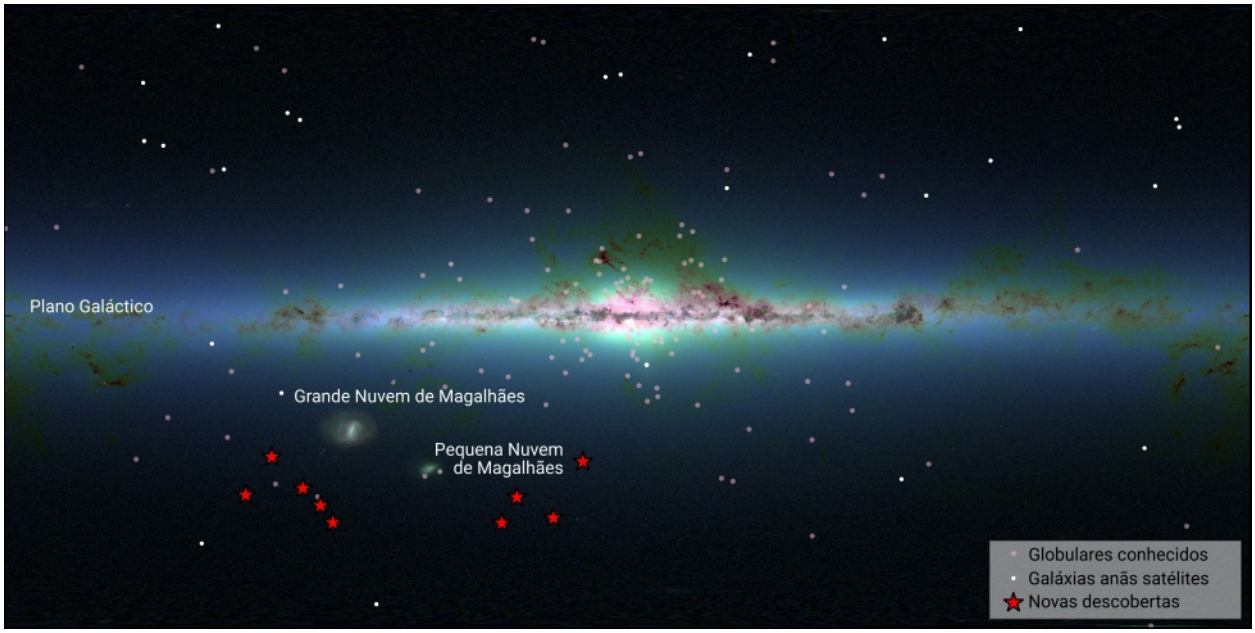
Na página anterior
Representação artística do céu noturno durante a colisão futura entre a Via Láctea e a Galáxia de Andromeda (Crédito: Dimitris Vetsikas/Pixabay)

feroide protuberante composto por estrelas relativamente velhas e que aglomerados de estrelas antigas se movimentam ao redor da Galáxia seguindo órbitas radiais. Mas, como é que o que começou como apenas uma nuvem de gás chegou a ser o sistema complexo no qual residimos hoje?

Bilhões de anos atrás a Via Láctea era apenas uma nuvem de gás protogaláctica — principalmente hidrogênio e pouco hélio — que sofreu um colapso inicial. Considerando que é pouco provável que a nuvem de gás original fosse absolutamente estática, supomos que a nuvem tinha uma leve rotação, o que fez com que o colapso levasse o material na direção central formando logo um disco em rotação. As primeiras gerações de estrelas, formadas a partir de um gás mais pristino — principalmente hidrogênio com pouca contribuição de elementos mais pesados — formaram grupos estelares (chamados de *aglomerados estelares*) com órbitas radiais, girando ao redor do centro da galáxia, evidenciando a cinemática inicial da nuvem em colapso. Gerações posteriores de estrelas se formaram a partir do gás uma vez este estava já no disco. Por um lado a cinemática do gás no disco impôs órbitas planares às estrelas que dele se formaram e, por outro, como o gás já estava um tanto enriquecido pela expulsão de elementos mais pesados pelas primeiras gerações de estrelas, as estrelas no disco são caracterizadas por uma metalicidade maior. Esse modelo de formação, denominado monolítico, explica a formação de uma galáxia a partir de uma única nuvem de gás. A formação da protuberância central, chamada de *bojo*, teria ocorrido devido à migra-

Para saber mais

Metalicidade é uma grandeza usada pelos astrônomos para representar a proporção da massa total de um objeto celeste composta por elementos químicos mais pesados que o hélio.



Acima
Mapa infravermelho da Via Láctea, mostrando 9 novos satélites encontrados nos dados do *Dark Energy Survey*, entre galáxias anãs e aglomerados globulares (Crédito: S. Koposov, V. Belokurov, 2MASS survey)

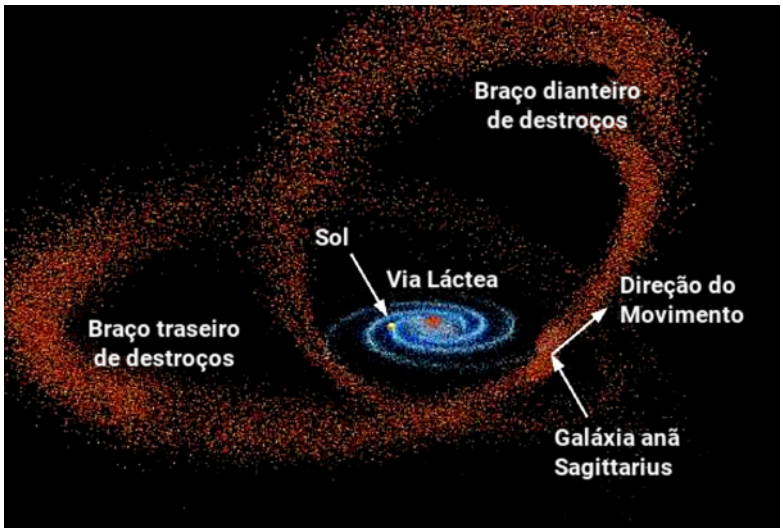
ção de grandes regiões de formação estelar num disco primitivo em direção ao centro, resultando numa população medianamente antiga, com idades entre as dos aglomerados estelares que ocupam o halo da galáxia e as das estrelas jovens do disco. Com a maior parte do combustível localizada no disco, novas gerações de estrelas continuam se formando aí, e isso estabelece um gradiente em metalicidade com respeito às regiões de ocupadas por estrelas mais velhas (bojo, halo); isto é, a metalicidade média da galáxia decresce à medida que nos afastamos do plano galáctico.

Ainda que esse modelo de formação de galáxias reproduza muitas das propriedades globais da Via Láctea, observamos desvios que exigem um aprimoramento de nosso entendimento de como as galáxias se formam. Primeiramente, observamos que nas proximidades da Via Láctea existem traços e destroços de galáxias menores que foram engolidas pela nossa — sendo o mais notável desses a Corrente Estelar de Sagittarius. Observamos também duas pequenas galáxias já presas no nosso campo gravitacional, orbitando lentamente o centro da Via Láctea: a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães. As estrelas que as compõem vão aos poucos fazer parte da Via Láctea. Essas observações locais, junto com a constatação de que as interações entre galáxias são frequentes, indicam que as galáxias passam com frequência por eventos de fusão de maior ou menor porte.

Interações e fusões podem transformar fortemente uma galáxia numa escala de tempo de centenas de milhões de anos... Parece longo, mas isso é curto no contex-

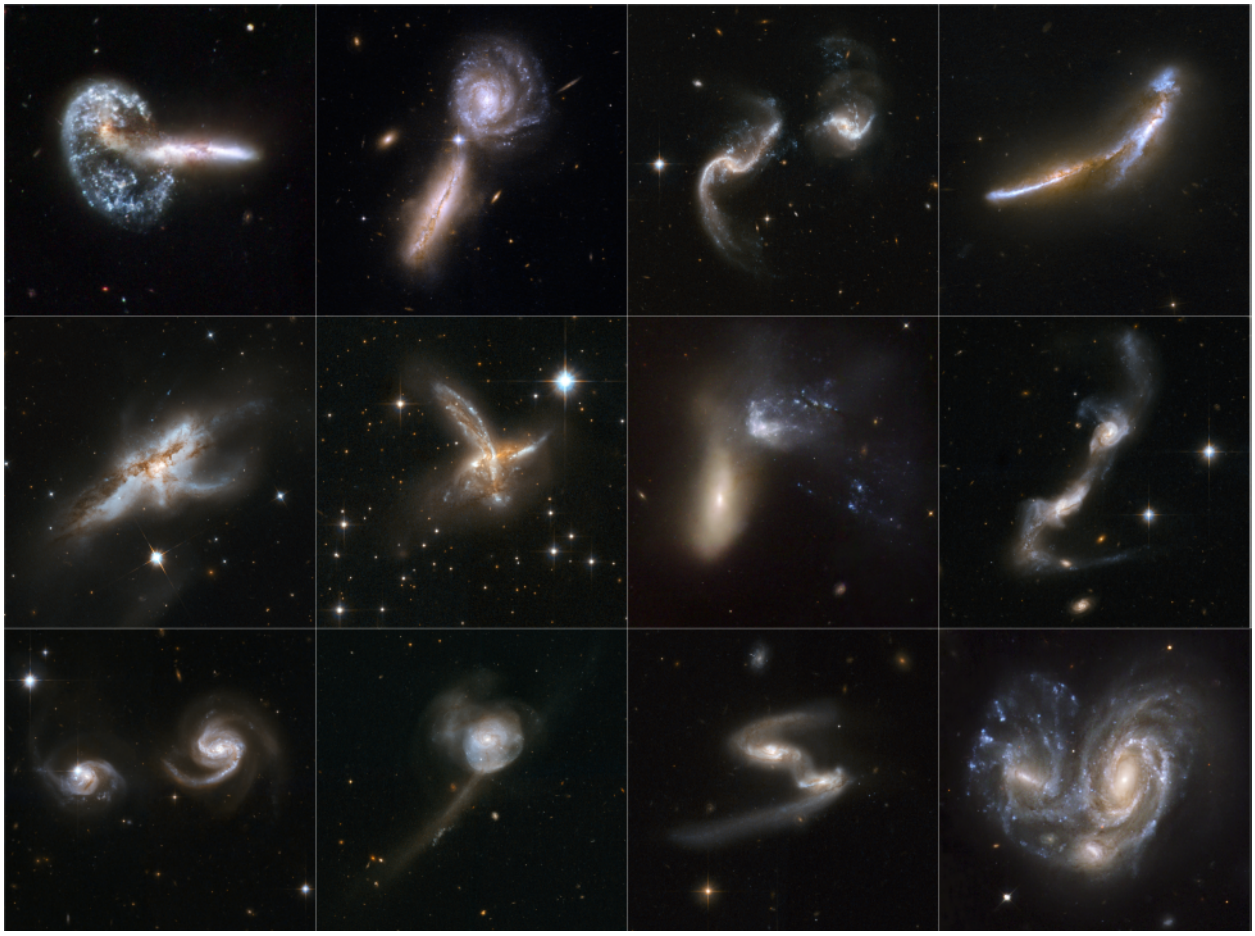
to dos bilhões de anos que caracterizam a idade das galáxias! Uma colisão ou até apenas uma passagem próxima entre galáxias pode levar à modificação do formato das galáxias envolvidas. Quando uma galáxia se aproxima de outra (mesmo quando não entram em contato direto), as estrelas das periferias sentem uma atração gravitacional forte que pode levar a uma mudança na forma global das galáxias envolvidas, formando estruturas que denominamos *caudas* ou *pontes de maré*, que evidenciam parte do material arrancado no encontro. Essas estruturas podem persistir por centenas de milhões de anos antes de se dissiparem no meio intergaláctico. Outras estruturas de longa vida, como *barras* e *braços espirais* são também o resultado de tais interações entre galáxias.

Em caso de uma colisão de pequeno porte, quando uma galáxia menor funde-se com uma galáxia maior, o evento pode gerar um *surto de formação estelar* local na galáxia maior. A combinação de uma nova entrada de gás (trazido potencialmente pela galáxia menor) e as forças geradas pela interação levam à compressão do novo combustível e à formação de novas gerações de estrelas. Isso pode ter um impacto incrível numa galáxia velha, pobre em gás: uma interação com uma galáxia rica em gás pode literalmente rejuvenescer a população estelar da galáxia velha. Pense numa Fonte da Juventude cósmica!



Acima
Simulação do desmonte gravitacional da galáxia anã Sagittarius por efeito da força de maré da Via Láctea (Crédito: David Law)

No caso das colisões ditas de maior porte — quando as galáxias participantes têm tamanhos semelhantes — os efeitos são ainda maiores e mais intensos. Na presença de grande quantidade de gás, intensos surtos de formação estelar são gerados numa escala global. Imagens no ultravioleta e no óptico capturam a emissão das estrelas novas e traçam um sistema fortemente misturado. Numa escala de centenas de milhões de anos (algo rápido comparado à idade do universo, mas muito devagar na escala humana!) o sistema passa por uma verdadeira dança entre duas galáxias: os formatos das galáxias individuais se desfazem aos poucos, deixando compridos rastros e correntes de estrelas e gerando grandes episódios de formação estelar, até o sistema se estabelecer numa ú-



Acima
Mosaico de imagens observadas pelo Telescópio Espacial Hubble, que mostram galáxias em processo de interação e fusão (Crédito: NASA)

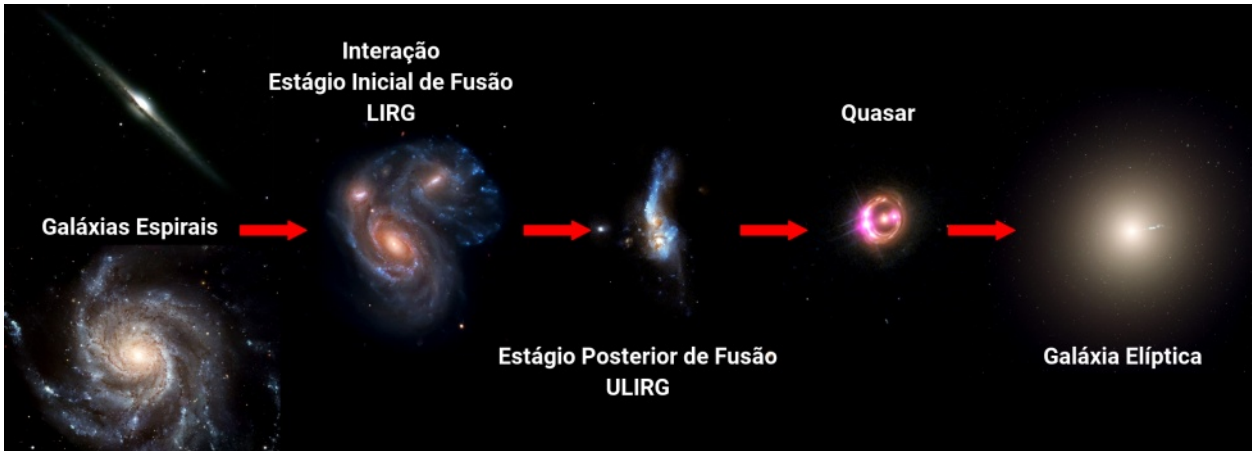
nica galáxia resultante. As estruturas de disco nas galáxias originais podem ser completamente destruídas dando passo a um formato final mais parecido com um esferoide único. Uma tal fusão transforma o formato, a massa estelar e a metalicidade do sistema de forma drástica. Depois de um tal evento, que em apenas centenas de milhões de anos sugou a grande proporção de gás disponível para formar estrelas novas, o sistema apenas progride evoluindo passivamente à medida que as estrelas geradas pela fusão envelhecem com o tempo. Desta forma, uma fusão de grande porte transforma galáxias ricas em gás em uma grande galáxia massiva pobre em gás e com pouca possibilidade de formar novas estrelas. Sem outras interações, o destino da galáxia resultante de tal espectacular evento é um lento envelhecimento. Vale notar que a galáxia mais próxima da Via Láctea, Andrômeda, está em trajetória direta para encontrar com a Via Láctea. Embora não estaremos aqui para aproveitar a paisagem noturna que tal evento gerará, a colisão entre estas galáxias levará à produção de grandes surtos de

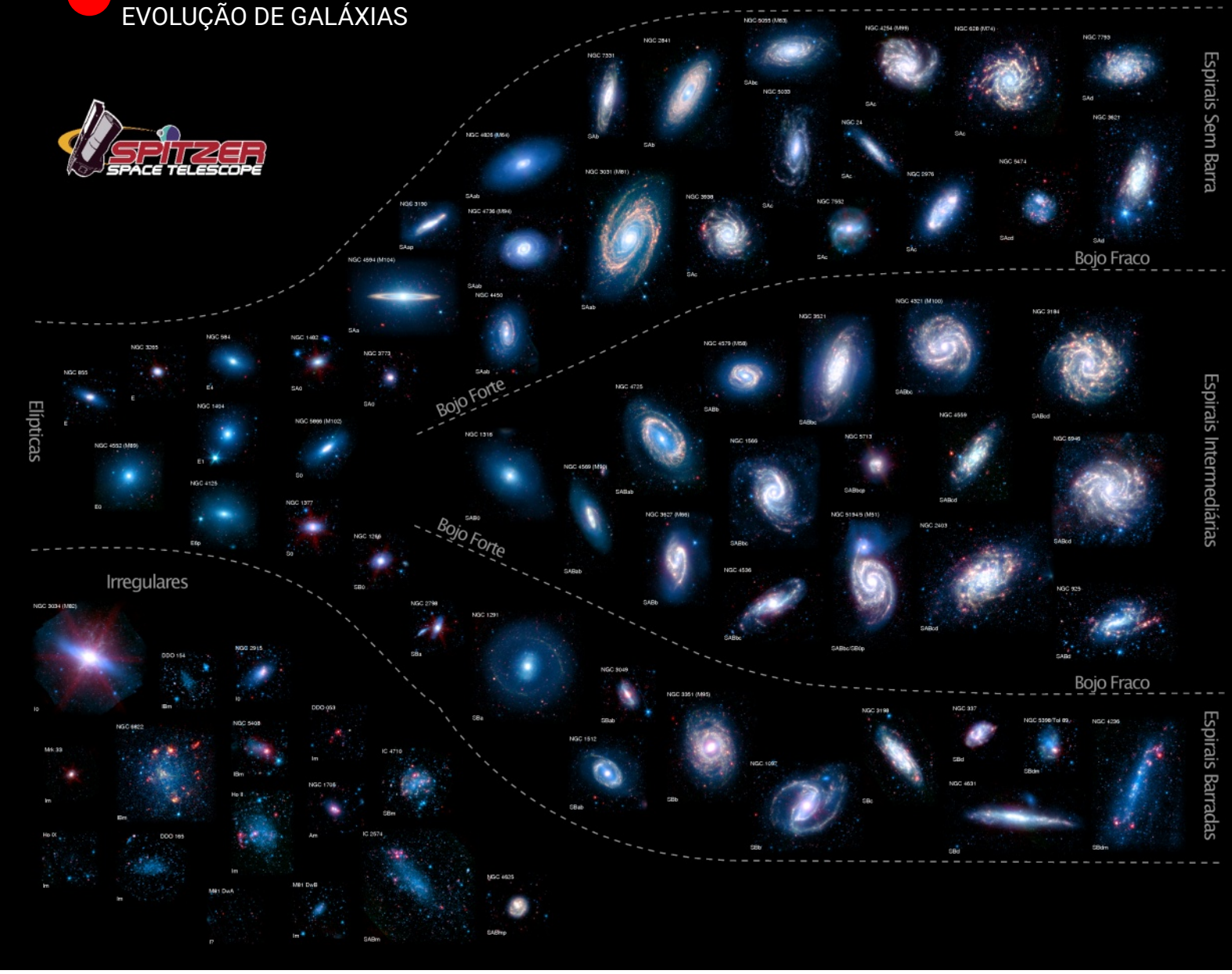
formação estelar e a uma drástica mudança no formato de nossa galáxia-lar: o sistema estelar final será mais parecido com uma galáxia gigante esferoidal do que com o disco que hoje nos acolhe.

A probabilidade de uma galáxia participar de uma colisão depende fortemente de seu ambiente. Embora o universo seja homogêneo de forma global na escala de bilhões de anos luz, em escalas menores existem regiões com mais galáxias do que outras. Estudos no universo local mostram que as propriedades das galáxias estão intrinsecamente vinculadas à densidade numérica no ambiente local (i.e., quantidade de galáxias vizinhas). Um exemplo clássico é a posição preferencial de galáxias passivas com pouco gás, baixa formação estelar e uma população estelar velha nas regiões mais densas ou, equivalentemente a ausência nestas regiões de galáxias ativas com muito gás, altas taxas de formação estelar e uma população estelar jovem. A origem física dessa relação ainda é controversa, mas a preponderância de interações entre galáxias aponta a que as galáxias maiores nos centros dos ambientes mais densos são o resultado da múltiplas fusões de galáxias que levaram à construção de gigantescas concentrações de estrelas .

Até agora apenas mencionamos a componente estelar das galáxias. Porém, é atualmente bem estabelecido que no centro de todas as galáxias massivas — incluindo a nossa Via Láctea – há um buraco negro gigantesco, chamado de *buraco negro supermassivo*. Curiosamente, a massa do buraco negro supermassivo está intimamente relacionada à massa estelar da galáxia: os maiores buracos negros se hospedam nas maiores galáxias. Ainda é uma questão em aberto como é que o buraco negro, no centro de uma galáxia, ocupando um pequeno espaço de menos de alguns anos-luz de diâmetro, tem conhecimento da quantidade de estrelas distribuídas nas escalas de dezenas de milhares de anos-luz: como sabe um buraco negro em

Abaixo
Esquema evolutivo que explicaria a formação de LIRGs e ULIRGs a partir da interação entre galáxias.





qual tipo de galáxia que ele vive? Observações de galáxias de alta massa permitiram aos astrônomos convergir em um modelo evolutivo que indica que uma galáxia de grande massa é o resultado de uma colossal colisão entre duas galáxias ricas em gás, alguns bilhões de anos atrás: o gás nas galáxias participantes da colisão fornece o combustível necessário para formar estrelas e as forças exercidas pela colisão fornecem a compressão necessária para desencadear um processo intenso de formação de estrelas em toda a galáxia. Durante este evento, o gás se desloca até o centro, por um lado desencadeando intensos episódios de formação estelar e por outro alimentando um buraco negro supermassivo no centro. À medida que a massa estelar na galáxia aumenta, também aumenta a massa do buraco negro central, que finalmente torna-se grande o suficiente para gerar ventos energéticos que expelem o gás, levando ao

fim toda atividade de formação estelar. Isso aponta a uma evolução em conjunto (ou co-evolução) das estrelas numa galáxia e o buraco negro no centro desta.

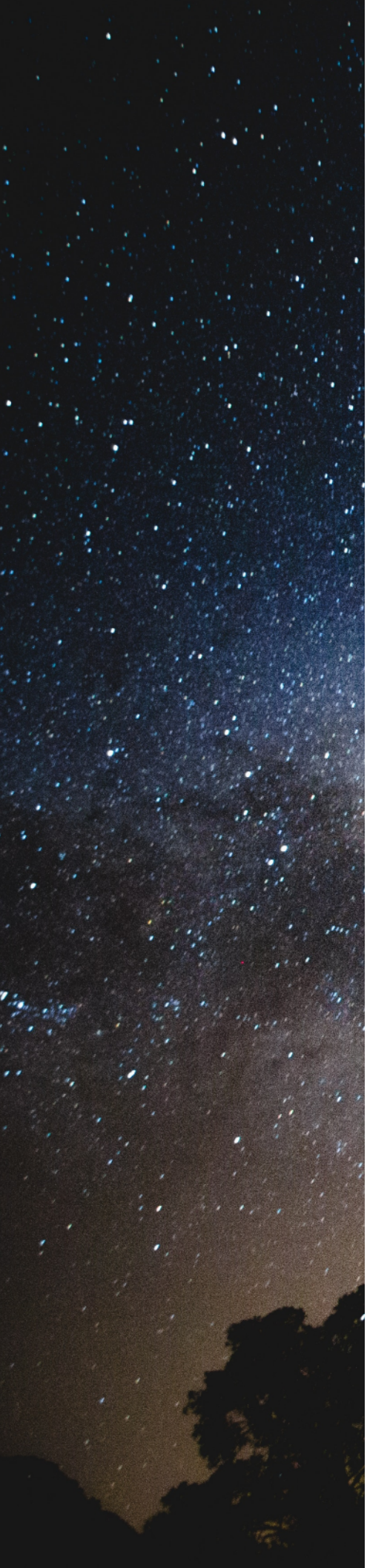
São muitas as perguntas que ainda permanecem em aberto no campo de evolução de galáxias o que faz com que este seja um campo muito ativo em pesquisa. Estudos detalhados de nossa galáxia e seus satélites permitem explorar muitos aspectos relacionados com a evolução química de uma galáxia, com a evolução de galáxias via fusões menores, entre outros. Porém, ainda servindo de referência principal para entender a formação e evolução de galáxias, sabemos que a Via Láctea é apenas uma das centenas de bilhões de galáxias que povoam o universo. Levantamentos observacionais revelam uma grande diversidade em galáxias, com morfologias e taxas de formação estelar completamente diferentes da nossa Galáxia. Para desenvolver um modelo completo sobre a formação e evolução de galáxias precisamos considerar a ampla diversidade nas características de galáxias que observamos. Mas a exploração das galáxias não se limita apenas às galáxias próximas a nós! O estudo de galáxias a grandes distâncias cosmológicas é crucial para aprofundar nosso entendimento da evolução de galáxias. Considerando que a velocidade da luz é constante, a luz de galáxias longínquas teve que percorrer uma enorme distância e portanto levou muito tempo para chegar até nós. Isso significa que a luz que observamos hoje mostra-nos essas galáxias como eram há muito tempo. Desta forma estudar galáxias muito distantes nos permite investigar seus estágios primitivos. Portanto, ainda que a caracterização do Universo local nos permita estabelecer a diversidade em propriedades astrofísicas existentes em galáxias, para desenvolver um modelo completo sobre os processos que formam e transformam galáxias é necessário estudá-las tanto no universo próximo como no distante. Para isso desenvolvemos tecnologias que nos permitem construir telescópios para estudar galáxias cada vez mais distantes, assim como explorar em cada vez maior detalhe as galáxias próximas. A exploração continua! •

Karín Menéndez-Delmestre
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
kmd@astro.ufrj.br

Na página anterior
Diagrama HR construído por observações do experimento SINGS. As cores das galáxias foram compostas por três canais RGB, cada qual correspondente a um comprimeiro de onda, a saber: IRAC 3.6 μm (azul), IRAC 8 μm (verde) e MIPS 24 μm (vermelho). Composição feita por Karl D. Gordon (Crédito: Spitzer).

PLANISPHÆRI
ÆSTUS MARIS PER MOTUM LUNÆ
RDES CARTES
ILLUMINATIO LUNÆ PER SOLEM
P. Gassendi Institutio Astronomica lib. 2. cap. 16.
PISCES
AQUARIUS
ARIES
TAURUS
GEMINI
CANCER
LEO
VIRGO
LIBRA
SCORPIUS
SAGITTARIUS
CAPRICORNUS
Triangulum
Pleiades
Caput Medusæ
Andromeda
Pegasus
Equuleus
Delphinus
Cassiopea
Cepheus
Cygnus
Perseus
Capella
Auriga
Erichthonius
Antinous
Aquila
Lira
Circulus Arcticus
Stella Polaris
Polus Eclipticæ Borealis
Colurus Solstitiorum
Polus Arcti
Ursa minor
Ursa maior
Callisto
Castor
Pollux
Dubhe
Draco
Alcor
Mizar
Corona Bor.
Engonasi
Hercules
Serpentarius
Ophiuchus
Coma Berenices
Bootes
Serpens
Arcturus
Colurus Æquinoctiorum
Castori
Tropicus
Regulus
Circulus Æquinoctialis

CŒLESTE
PISCES
ARIES
AQUARIUS
Cetus, Balena
Schcat. arab.
Fomahant
Phomel-haut, arab.
Os piscis.
Piscis notius
CAPRICORNUS
Grus
Phœnix
TAURUS
Hyades
Aldibaran
Indus
Fluvius
Eridanus
Orion
Pica Indica
Hydra
Lepus
Colomba
Noe
Pauo
Corona
australis
Polus Ecliptica Australis
Polus Antarcticus
Apous Indica
Cameleon
Canopus
Sirius
Canis maior
Sirius
GEMINI
SAGITTARIUS
Circulus Antarcticus
Musca
Ara, Thuribulum
SCORPIUS
Canicula
Procyon
Fera, Lupus
El Crusero
Argo Navis
CANCER
Antares Cor Scorpii
Centaurus
Tropicus Capricorni
Colurus
Hydra
LIBRA
Crater
Vas
LEO
Circulus Æquinoctialis
Corvus
Spica Virginis
Æquinoctiorum
VIRGO
HYPOTHESIS TYCHONICA
Cœlum Saturni
Sphæra Stellarum Fixarum
P. LANSBERGII SCHEMA
MOTÛS TERRÆ ANNUI CIRCA SOLEM
Controversia Secunda.
Magnitudines Stellarum
Primæ
Secundæ
Tertiæ
Quartæ
Quintæ
Sextæ
Amstelodami apud Fredericum de



Associe-se à SAB

A SAB aceita candidaturas não só de profissionais que trabalhem com Astronomia e que tenham concluído a graduação, mas também alunos de ensino médio, graduação e astrônomos amadores. Há duas modalidades de associados da SAB: os individuais e os institucionais

Individuais

Aspirante: Bacharéis ou estudantes de mestrado em cursos relacionados à Astronomia.

Efetivo: Estudantes de doutorado e pesquisadores doutores em áreas relacionadas à Astronomia.

Júnior: Estudantes de nível médio ou estudantes universitários.

Astrônomo Amador: Aqueles que atuam na área de Astronomia do ponto de vista amador ou que mantenham colaboração com pesquisadores na área de Astronomia.

Institucionais

Para Institutos de pesquisa e universidades.

Como se associar

Visite https://sab-astro.org.br/associacao/adesao/

Esquerda
Detalhe do céu estrelado (Crédito: Lucas Pezeta/Pexels)
Página dupla anterior
Mapa celeste criado em 1670 pelo cartógrafo holandês Frederik de Wit.
Contracapa
Uma pequena galáxia espiral é flagrada enre duas elípticas gigantes, no Grupo Compacto de Hickson 90 (Crédito: NASA, ESA e R. Sharples)

QUER ESTUDAR ASTRONOMIA?

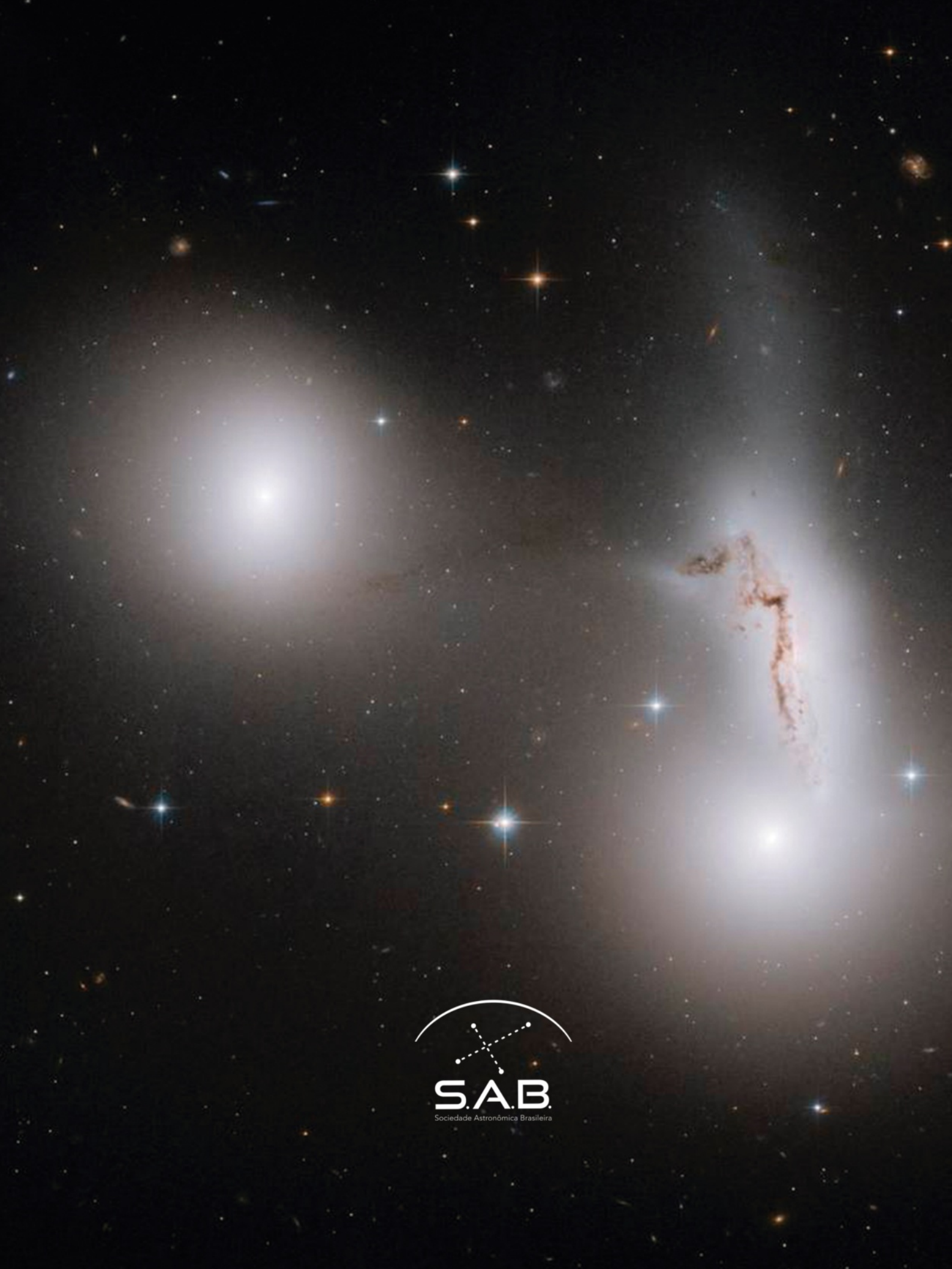
Descubra onde

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Ingresso via ENEM/SiSU
http://ov.ufrj.br/graduacao
(21) 2263-0685 ov@astro.ufrj.br

Universidade de São Paulo
Ingresso via ENEM/SiSU e vestibular da Fuvest
http://www.iag.usp.br/bacharelado-em-astronomia
(11) 3091-4699 iag@usp.br

Universidade Federal de Sergipe
Ingresso via ENEM/SiSU
http://www.ufs.br
(79) 3194-6630 ufs.fisica@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Ingresso via ENEM/SiSU e vestibular próprio
http://ufrgs.br/astronomia
(51) 3308-6439 secretaria.astro@if.ufrgs.br


S.A.B.
Sociedade Astronômica Brasileira